

**DIE ZEITLICHEN ÜBERTRAGUNGSEIGENSCHAFTEN
DES VISUELLEN SYSTEMS**

RUDOLF F. EGER

1987

Disbui. München

1987





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554827_0083

Aus der Augenklinik der Universität München
Vorstand: Professor Dr. O.-E. Lund

Die zeitlichen Übertragungseigenschaften des
visuellen Systems

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Rudolf F. Eger
aus
Wiesentheid
Jahr
1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. O.-E. Lund

Mitberichterstatter: 1. Prof. Dr. G. ten Bruggencate
2. Prof. Dr. E. Pöppel

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. Dr. B. Lachenmayr

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 7.5.1987

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Zielsetzung	1
2. Material der Übung	2
2.1. Pflanzenwachstumsfaktoren	2
2.2. De Longe + Kohn	3
2.3. Wachstumskurven	3
3. Versuchsaufbau	4
3.1. Prinzip	4
3.2. Bedeutung der Faktoren	4
3.3. Durchführung	4
4. Datenerhebung und -auswertung	5
4.1. Datenerhebung	5
4.2. Datenauswertung	5
5. Ergebnisse und Diskussion	6
5.1. Ergebnisse	6
5.2. Diskussion	6
6. Zusammenfassung	7
6.1. Zusammenfassung	7
6.2. Ergebnisse	7
6.3. Diskussion	7
6.4. Zusammenfassung	7
6.5. Ergebnisse	7
6.6. Diskussion	7
6.7. Zusammenfassung	7
6.8. Ergebnisse	7
6.9. Diskussion	7
6.10. Zusammenfassung	7
6.11. Ergebnisse	7
6.12. Diskussion	7
6.13. Zusammenfassung	7
6.14. Ergebnisse	7
6.15. Diskussion	7
6.16. Zusammenfassung	7
6.17. Ergebnisse	7
6.18. Diskussion	7
6.19. Zusammenfassung	7
6.20. Ergebnisse	7
6.21. Diskussion	7
6.22. Zusammenfassung	7
6.23. Ergebnisse	7
6.24. Diskussion	7
6.25. Zusammenfassung	7
6.26. Ergebnisse	7
6.27. Diskussion	7
6.28. Zusammenfassung	7
6.29. Ergebnisse	7
6.30. Diskussion	7
6.31. Zusammenfassung	7
6.32. Ergebnisse	7
6.33. Diskussion	7
6.34. Zusammenfassung	7
6.35. Ergebnisse	7
6.36. Diskussion	7
6.37. Zusammenfassung	7
6.38. Ergebnisse	7
6.39. Diskussion	7
6.40. Zusammenfassung	7
6.41. Ergebnisse	7
6.42. Diskussion	7
6.43. Zusammenfassung	7
6.44. Ergebnisse	7
6.45. Diskussion	7
6.46. Zusammenfassung	7
6.47. Ergebnisse	7
6.48. Diskussion	7
6.49. Zusammenfassung	7
6.50. Ergebnisse	7
6.51. Diskussion	7
6.52. Zusammenfassung	7
6.53. Ergebnisse	7
6.54. Diskussion	7
6.55. Zusammenfassung	7
6.56. Ergebnisse	7
6.57. Diskussion	7
6.58. Zusammenfassung	7
6.59. Ergebnisse	7
6.60. Diskussion	7
6.61. Zusammenfassung	7
6.62. Ergebnisse	7
6.63. Diskussion	7
6.64. Zusammenfassung	7
6.65. Ergebnisse	7
6.66. Diskussion	7
6.67. Zusammenfassung	7
6.68. Ergebnisse	7
6.69. Diskussion	7
6.70. Zusammenfassung	7
6.71. Ergebnisse	7
6.72. Diskussion	7
6.73. Zusammenfassung	7
6.74. Ergebnisse	7
6.75. Diskussion	7
6.76. Zusammenfassung	7
6.77. Ergebnisse	7
6.78. Diskussion	7
6.79. Zusammenfassung	7
6.80. Ergebnisse	7
6.81. Diskussion	7
6.82. Zusammenfassung	7
6.83. Ergebnisse	7
6.84. Diskussion	7
6.85. Zusammenfassung	7
6.86. Ergebnisse	7
6.87. Diskussion	7
6.88. Zusammenfassung	7
6.89. Ergebnisse	7
6.90. Diskussion	7
6.91. Zusammenfassung	7
6.92. Ergebnisse	7
6.93. Diskussion	7
6.94. Zusammenfassung	7
6.95. Ergebnisse	7
6.96. Diskussion	7
6.97. Zusammenfassung	7
6.98. Ergebnisse	7
6.99. Diskussion	7
6.100. Zusammenfassung	7

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung und Problemstellung	1
2. Diskussion der Literatur	4
2.1. Flimmerverschmelzungsfrequenz (FFF)	4
2.2. De Lange - Kurve	16
2.3. Bisherige klinische Untersuchungen	19
3. Versuchsaufbau	26
4. Meßmethode	30
4.1. Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz und der Flimmerperimetrie	30
4.2. Messung der fovealen De Lange - Kurve	30
4.3. Fehlerbetrachtung	34
5. Untersuchung bei normalsichtigen Probanden	35
5.1. Auswahlkriterien	35
5.2. Ergebnisse und Diskussion	35
6. Patienten mit vaskulärem Papillenödem	46
6.1. Definition	46
6.2. Auswahlkriterien	46
6.3. Ergebnisse und Diskussion	47
7. Patienten mit Opticusatrophie	60
7.1. Definition	60
7.2. Auswahlkriterien	61
7.3. Ergebnisse und Diskussion	62
8. Zusammenfassung	76
9. Literaturverzeichnis	79

1. Einführung und Problemstellung

Die vorliegende Arbeit bildet den Anfang einer Untersuchungsreihe, die sich mit den zeitlichen Übertragungseigenschaften des visuellen Systems befaßt. Sie ist in drei Teile untergliedert.

Teil 1 Befunde bei normalsichtigen Probanden

Teil 2a Befunde bei Patienten mit vaskulärem
Papillenödem

Teil 2b Befunde bei Patienten mit Opticus-
atrophie

Teil 3 Befunde bei Patienten mit Neuritis und
Papillitis (s.GLEISSNER(6))

Teil 1 und Teil 2 werden in dieser, Teil 3 in der Dissertation von GLEISSNER (6) abgehandelt. Die Untersuchungen zu Teil 1 und Teil 2 wurden im Zeitraum von Januar 1984 bis März 1985 durchgeführt. Teil 1 der Arbeit wurde getrennt davon im Herbst 1985 erstellt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zunächst bei der Untersuchung von normalsichtigen Probanden, den jeweiligen Altersstufen entsprechende Normalwerte zu finden. Im Teil 2 der Arbeit werden verschiedene Krankheitsbilder untersucht, um ebenfalls bestimmte, für diese Erkrankung charakteristische Merkmale herauszufinden. Die daraus gewonnenen Ergebnisse werden diskutiert und mit den Werten der normalsichtigen Probanden verglichen, um so eventuell mögliche, spezifische Aussagen zu den Erkrankungen zu treffen.

Beim visuellen System werden die örtlichen von den zeitlichen Übertragungseigenschaften unterschieden. Die örtlichen Übertragungseigenschaften werden durch die sog. Kontrastempfindlichkeitsfunktion charakterisiert. Diese liefert den Zusammenhang zwischen der Abhängigkeit der Kontrastschwelle eines Sinusgitters und seiner Ortsfrequenz. Die zeitlichen

Übertragungseigenschaften des visuellen Systems werden durch eine ähnliche Übertragungsfunktion, nämlich die DE LANGE - KURVE (De Lange(20): Erstbeschreiber dieses Zusammenhanges) charakterisiert. Die De Lange - Kurve liefert den Zusammenhang zwischen der Flimmerempfindlichkeit (d.h. der reziproken Schwellenmodulation) und der zeitlichen Frequenz des Testreizes für verschiedene Netzhautareale. Als Beispiel sei hier eine foveale De Lange-Kurve angeführt bei einer Umfeldleuchtdichte von 50 cd/m^2 und einer Testzeichengröße von 1° . Als Resultat ergibt sich eine Tiefpaßkurve mit einer maximalen Durchlaßfrequenz von ca. 8 bis 10 Hz (siehe Abb. 1).

Die Definition der Modulation sei anhand von Abb. 2 erläutert. Die Testzeichenleuchtdichte $L(t)$ schwingt im Sinusrhythmus um die mittlere Leuchtdichte L_0 , wobei L_0 der Umfeldleuchtdichte (50 cd/m^2) entspricht. Als Maß für die Erhöhung, bzw. Absenkung ist die Modulation m als der Quotient aus $L_{\max} - L_{\min} / L_{\max} + L_{\min}$ festgelegt. Es ergibt sich die Schwellenmodulation m bei festgelegter Frequenz f als derjenige Wert von m , bei dem das Flimmern gerade noch oder gerade nicht mehr wahrgenommen wird.

Für hohe Frequenzen ergibt sich als Grenzwert die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FFF = Flicker Fusion Frequency). Die entsprechende Modulation für die FFF ist definitionsgemäß immer $m = 1,0$.

Für niedrige Frequenzen existiert als Grenzwert die statische Unterschiedsschwelle (LBI = Liminal Brightness Increment).

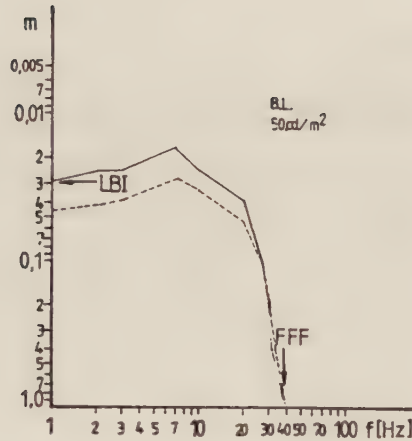


Abb. 1: Foveale De Lange - Kurve bei einer Umfeldleuchtdichte von 50 cd/m² und einer Testzeichengröße von 1 Grad.

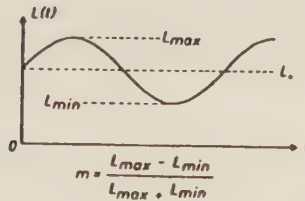


Abb. 2: Definition der Modulation. Für die Modulationstiefe gilt:

$$m = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$$



2. Diskussion der Literatur

2.1. Flimmerverschmelzungsfrequenz (FFF)

Die Ermittlung der Flimmerverschmelzungsfrequenz wurde in den bisherigen, klinisch relevanten Untersuchungen immer mit Rechteck- oder Sinusreizen durchgeführt. Zur Erzeugung eines Rechteckreizes wurden früher sehr einfache Methoden, wie z.B. rotierende Sektorenscheiben, verwendet. Dadurch wechselte die Leuchtdichte zwischen einem maximalen und minimalen Wert $L_{\max}$ und $L_{\min}$, wobei $L_{\min}$ meistens sehr klein oder gleich Null war. Bei ähnlichen Experimenten verwendeten DOW 1907 und IVES 1922 bereits den Sinusreiz (s. Abb. 2).

Wichtig für die FFF ist die FOURIER - Analyse (Fourier Equivalence Calculation (s. KELLY (15))). Sie basiert auf einer mathematischen Theorie die besagt, daß jede periodische Funktion in eine unendliche Summe von Sinus- und Cosinusfunktionen zerlegt werden kann. Sie kommt hier zur Anwendung, da die De Lange - Kurven mit Sinusreizen abgeleitet werden. Die Anwendung dieser Analyse auf verschiedenste Reizformen und der Vergleich mit den experimentellen Daten läßt den Schluß zu, daß für Frequenzen oberhalb etwa 10 - 20 Hz die relative Amplitude der in der Reizfunktion enthaltenen Grundwelle den für die Flimmerschwelle entscheidenden Parameter bildet. Dieser wird als "ripple ratio" r bezeichnet (S. Abb. 3 und 4).

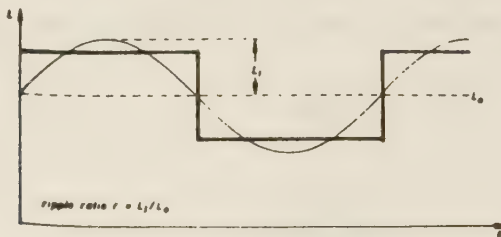


Abb. 3: Das "ripple ratio" r

$$r = \frac{\text{Amplitude der Grundwelle } L_1}{\text{mittlere Leuchtdichte } L_0} \quad (\text{aus DE LANGE (20), KELLY (15)})$$

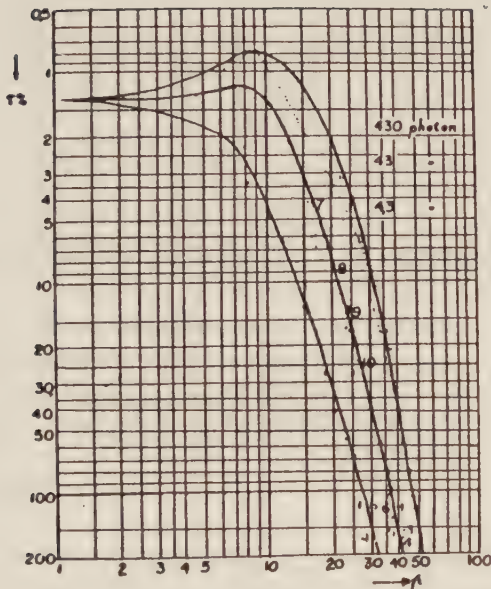


Abb. 4: Das "ripple ratio" r als Funktion der FFF (De Lange-Kurven) für drei Netzhautbeleuchtungsstärken. Für verschiedene Rechteckfunktionen wurde der Wert von r berechnet und gegen die FFF aufgetragen; es ergeben sich kontinuierliche Übertragungskurven - der experimentelle Beweis für die Fourier Equivalence Calculation. Messung foveal, 2 Grad Testzeichen, 60 Grad Umfeld (aus DE LANGE(20)).

Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (Flicker Fusion Frequency FFF) wird als diejenige Frequenz eines zeitlich periodisch modulierten Reizes definiert, bei der das Auge zum ersten Mal einen subjektiv konstanten Helligkeitseindruck wahrnimmt. Dabei wird ausgegangen vom Bereich des deutlich wahrnehmbaren Flimmerns über anwachsende Flimmerfrequenz zur Verschmelzungsfrequenz. Am Verschmelzungspunkt gilt das TALBOT - PLATEAU'sche Gesetz. Dies besagt, daß oberhalb der FFF ein Flimmerreiz den gleichen subjektiven Helligkeitseindruck hervorruft wie ein konstanter Lichtreiz, dessen Leuchtdichte gleich der zeitlich gemittelten

Leuchtdichte des Flimmerreizes ist.

$$L = \frac{1}{T} \int_0^T L(t) dt$$

(TALBOT - PLATEAU)

mit T = Periodendauer und $L(t)$ = Reizfunktion (aus LACHENMAYR (17))

Die FFF hängt auch von der zeitlich gemittelten Leuchtdichte des Flimmerreizes ab. Die wirksame Reizgröße ist hier die Netzhautbeleuchtungsstärke. Das hier geltende FERRY PORTER'sche Gesetz hat nur innerhalb eines bestimmten Leuchtdichtebereichs und hier auch nur im Photopischen Gültigkeit.

$$FFF \text{ (Hz)} = a \log L/L_E + b$$

(FERRY-PORTER'sches Gesetz) aus (LACHENMAYR (17))

a und b sind Konstante, L_E ist die Einheit der Leuchtdichte (Bsp.: cd/m^2) siehe Abb. 5

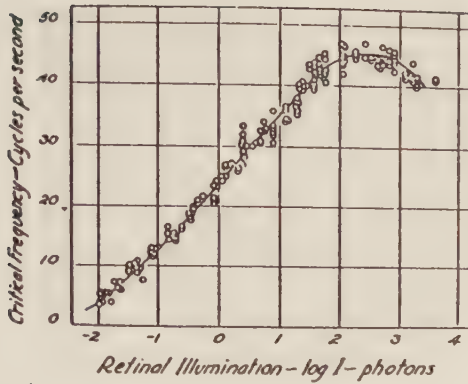


Abb. 5: Die FFF als Funktion der Netzhautbeleuchtungsstärke, aus HECHT und VERRIJIP (9). 2 Grad Testzeichen, 10 Grad Umfeld, foveal. (1 Photon ist 1 Troland)

Des weiteren besteht eine Abhängigkeit zwischen der FFF und der Fläche des Testzeichens. Hier gilt über einen beschränkten Bereich folgende Gesetzmäßigkeit:

$$FFF \text{ (Hz)} = c \log A/A_E + d$$

(GRANIT - HARPER'sches Gesetz) aus GRANIT und HARPER (7)

c und d sind Konstanten, A ist die Fläche des Testzeichens, A_E ist der Flächeninhalt.

Im Photopischen ist die FFF unabhängig von der Farbe des Testzeichens (s. Abb. 6). Es führen gleich helle, aber verschiedenfarbige Lichter zur gleichen FFF.

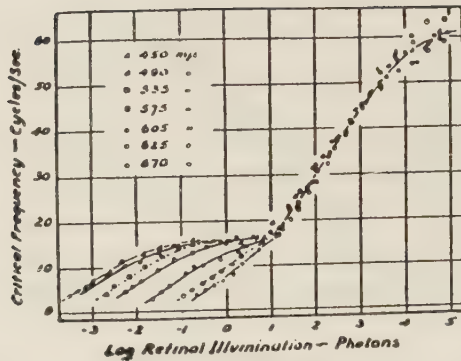


Abb. 6: FFF als Funktion der Netzhautbeleuchtungsstärke für verschiedene Wellenlängen. 19 Grad Testzeichen, 35 Grad Umfeld, foveal. (aus HECHT und SHLAER (10)).

Das Zeitfrequenzverhalten der Farbrezeptoren ist sehr unterschiedlich. Der Blaurezeptor besitzt eine insgesamt deutlich geringere Flimmerempfindlichkeit und Bandbreite als der Rot- und Grünrezeptor. Letztere besitzen allerdings untereinander ähnliche Übertragungseigenschaften (DE LANGE (20) und GREEN (8)). Die Nachprüfung dieser Ergebnisse erfolgte durch elektrophysiologische Untersuchungen am Affen.

Wird vor der Messung der FFF dem Auge ein zeitlich modulierter Adaptationsreiz dargeboten, so beeinflusst dies die Höhe der FFF in der Form, daß die FFF absinkt bei Adaptationsfrequenzen unterhalb der FFF (s. Abb. 7) .

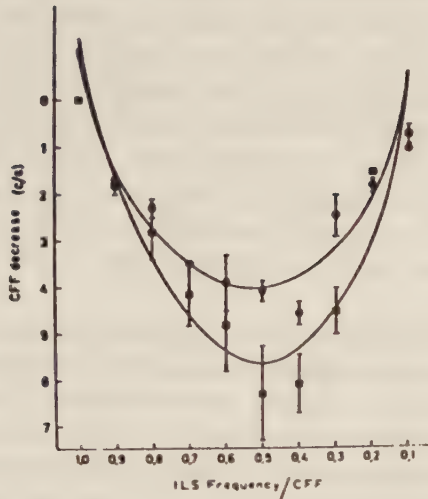


Abb. 7: Frequenzadaptation. Ordinate: Absenkung der FFF (= CFF)
 Abszisse: Adaptationsfrequenz in Bruchteilen der FFF
 2 Versuchspersonen, 2 min Adaptationszeit, 1 Grad Testzeichen, foveal.
 (aus REY (23))

Daneben tritt nach ALPERN und SUGIYAMA auch eine Erhöhung der FFF bei vorangegangener Reizung mit Frequenzen oberhalb der FFF auf (s. Abb. 8).

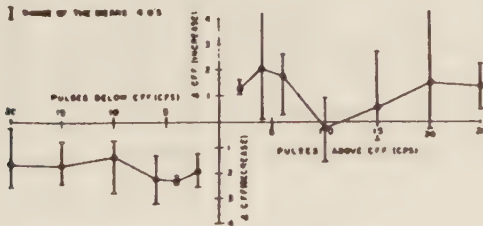


Abb. 8: Veränderung der FFF bei Adaptation mit Frequenzen oberhalb und unterhalb der FFF. 3 min Adaptationszeit, 2 Grad Testzeichen, 6 Grad Umfeld, foveal. (aus ALPERN und SUGIYAMA (1))

Wird nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne das Sehobjekt nicht mehr wahrgenommen, spricht man von Lokaladaptation unter der Voraussetzung, daß die Lage des Fixationspunktes nicht verändert wird. Es ist eine Verkürzung der Adaptationszeit von der Fovea zur Peripherie hin festzustellen. Sie ist auf jedem Netzhautort vorhanden und bezieht sich ständig auf jeden Reiz. MONJE und BERNSDORFF (22) stellten die Lokaladaptationszeit als Funktion der Flimmerfrequenz dar. Die Frequenzadaptation dagegen bezieht sich ausschließlich auf zeitlich periodisch modulierte Reize und kann eine Veränderung der FFF nach oben oder unten verursachen.

Bei der peripheren FFF an verschiedenen Netzhautorten ist die Abhängigkeit der FFF von der Leuchtdichte sehr unterschiedlich. In einem großen Teil des gesamten foveal meßbaren Leuchtdichtebereich ergibt sich als einfacher logarithmischer Zusammenhang das FERRY - PORTER'sche Gesetz. Dazu weisen im Gegensatz die peripheren Kurven im Mesopischen einen Sprung auf. Als Ursache dafür wird die Verteilung von Stäbchen und Zapfen in der Retina angesehen (s. Abb. 9).

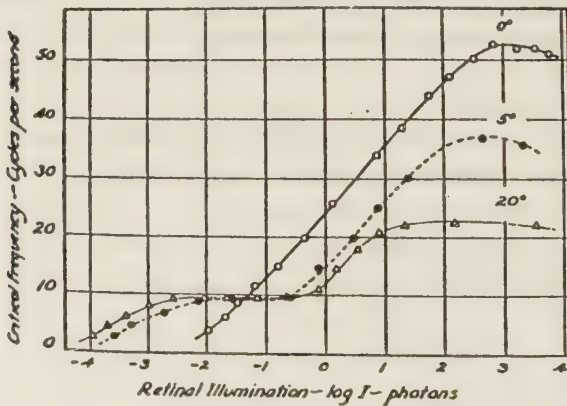


Abb. 9: FFF als Funktion der Leuchtdichte an verschiedenen Netzhautorten: Foveal 5 - und 15 Grad über der Fovea. 2 Grad Testzeichen, 10 Grad Umfeld. (aus HECHT und VERRIJP (9))

Bei dunklem Umfeld ergeben helle Testzeichen einen Abfall der FFF von der Fovea zur Peripherie hin (s. Abb. 10).

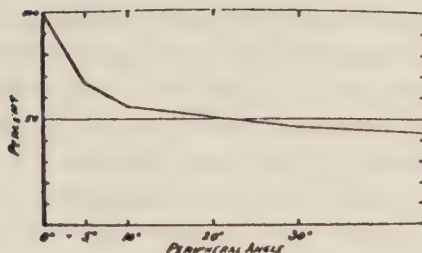


Abb. 10: FFF als Funktion der Exzentrizität. 40 Grad Testzeichen
8 cd/m², dunkles Umfeld, temporal horizontal. (aus ROSS (24))

Wird ein Umfeld verwendet, das ebenso hell wie das Testzeichen ist, so führt dies bei größeren Testzeichendurchmessern (über 1 Grad) zu einem Anstieg der FFF von der Fovea zur Peripherie hin um etwa 5 10 Hz. Nach Durchlaufen eines Maximums erfolgt wieder ein Abfall der FFF zu größeren Exzentrizität hin. Bei der Verwendung von kleinen Testzeichen (unter 1 Grad) ergibt sich unter den gleichen Konditionen ein Abfall der FFF von der Fovea zur Peripherie hin (s. Abb. 11).

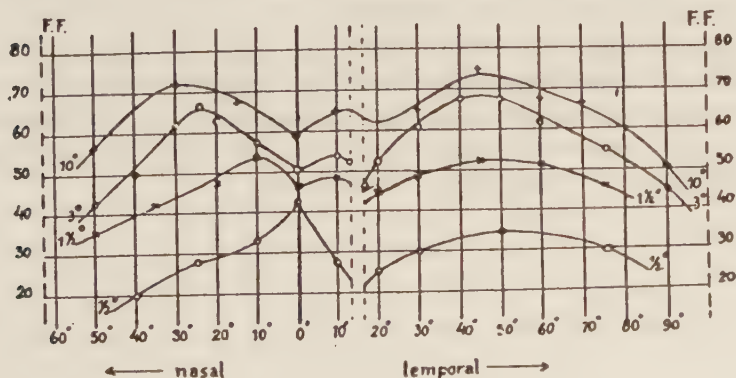


Abb. 11: FFF als Funktion der Exzentrizität für verschiedene Testzeichendurchmesser. Horizontaler Meridian. (aus HYLKEMA (11))

In einem ihrer früheren Versuche bestimmten AULHORN und HARMS (2) die Flimmerverschmelzungsfrequenz. Dabei wurde ein Stimulus auf ein Umfeld der Leuchtdichte L_0 projiziert. In der vorliegenden Untersuchung variiert demgegenüber die Testzeichenleuchtdichte $L(t)$ im Sinusrhythmus um die mittlere Leuchtdichte L_0 . Die Versuchsanordnung von AULHORN und HARMS hat jedoch den Nachteil, daß es zu einer Erhöhung der mittleren Leuchtdichte, also zu einem Leuchtdichtesprung während der Testzeichendarbietung kommt, wobei das Niveau modulationsabhängig ist. Aufgrund dessen, und aufgrund der Ermittlung der Flimmerschwelle mittels Dauerreizen (Schwellenbeeinflussung durch Frequenzadaptation) muß man von nicht definierten Bedingungen bei der Schwellenermittlung ausgehen.

In einem anderen Versuch prüfte AULHORN (3) das unterschiedliche Verhalten der FFF an verschiedenen Netzhautorten, indem sie zum einen die Leuchtdichte des Prüfzeichens den verschiedenen Lichtunterschiedsempfindlichkeiten der Netzhaut anpaßte. Dabei wurde die Prüfzeichenleuchtdichte zur Bestimmung der FFF an jedem Netzhautort um eine log. Einheit heller gestellt als die an gleicher Stelle liegende Lichtunterschiedsempfindlichkeitsschwelle. Das Resultat zeigte eindeutig, daß die Verschmelzungsfrequenz (im photooptischen Bereich) im Zentrum niedriger liegt als in den peripheren Bereichen. Daraus folgt, daß das zeitliche Auflösungsvermögen in der Peripherie besser ist als im Zentrum.

Prüft man zum anderen dagegen die FFF an allen Netzhautorten mit gleichbleibender Leuchtdichte, so ergibt es sich, daß die Prüfzeichenleuchtdichte im Zentrum hoch überschwellig ist, während sie in der Peripherie gerade über der Schwelle liegt (s. Abb. 12).

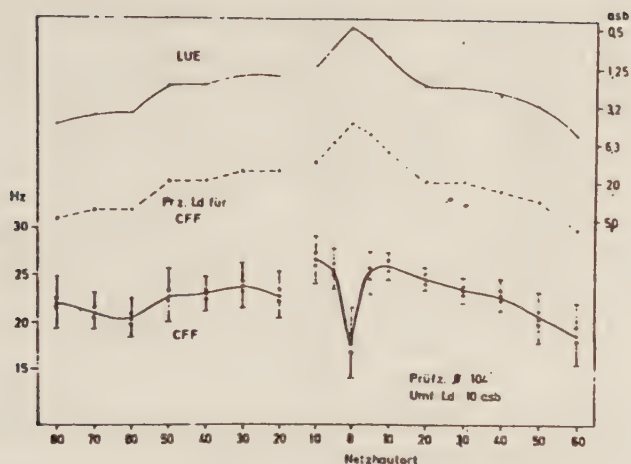


Abb. 12: Mittelwerte und Standardabweichung der Verschmelzungsfrequenz von fünf normalsichtigen Probanden (untere Kurve). Die für die Versuche verwandte Prüfpunktleuchtdichte ist in der mittleren Kurve dargestellt. Die um jeweils eine log. Einheit tiefer liegenden Leuchtdichten sind in der oberen Kurve dargestellt (aus AULHORN (3)).

BRETTEL (4) zeigt bei seinen Untersuchungen deutlich einen nichtmonotonen Verlauf der FFF in der Peripherie. Ähnliches findet man bei MAYER und SHERMAN (21), allerdings nur in bestimmten Ansätzen (s. Abb. 13).

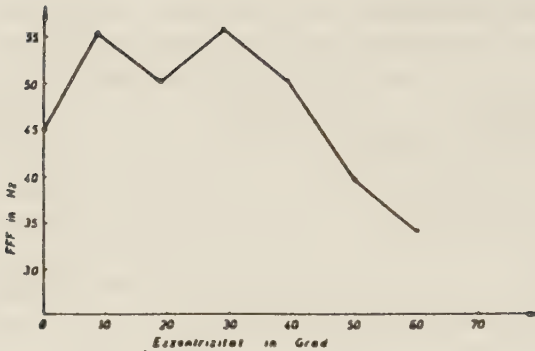


Abb. 13: Die FFF als Funktion der Exzentrizität. 1 Grad Testzeichen, vertikaler Meridian, untere Gesichtsfeldhälfte.
(aus MAYER und SHERMAN (21))

LACHENMAYR (17) weist erstmals 1977 unter standardisierten Bedingungen auf folgende, für die periphere FFF charakteristischen Merkmale hin: Im Photopischen steigt die FFF von der Fovea zur Peripherie hin an. An dieser Stelle sei auch auf die Arbeit von GLEISSNER (6) hingewiesen. Bei großen Exzentrizitätswerten (30° - 60°) erfolgt ein steiler Abfall der FFF. Im Zwischenbereich (von 5° - 30° bzw. 60°) durchläuft die FFF mehrere Maxima, die stets höher liegen als die fovealen FFF - Werte (s. Abb. 14 und 15).

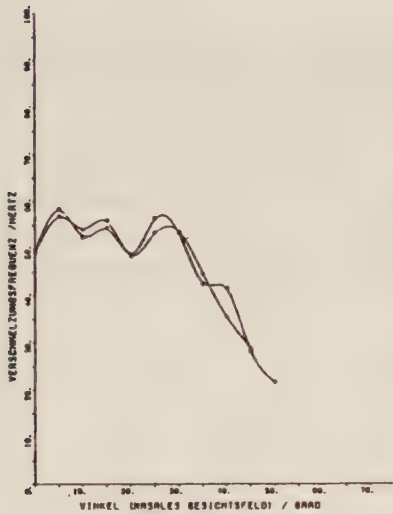


Abb. 14:

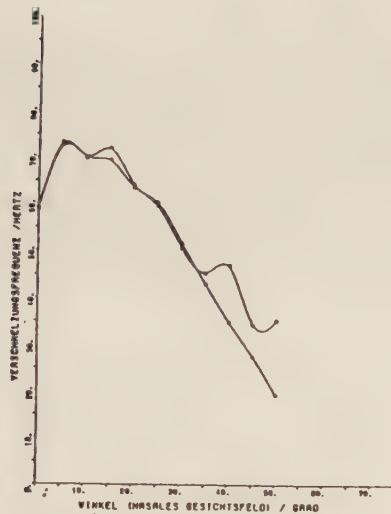


Abb. 15:

Abbn. 14 und 15: Die FFF als Funktion der Exzentrität bei verschiedenen Versuchspersonen. 1 Grad Testzeichen, Leuchtdichte 70 cd/m^2 . Typisches Merkmal trotz unterschiedlicher Verläufe ist der Bereich mittlerer Exzentritäten mit mehreren Maxima (aus LACHENMAYR (17)).

2.2. De Lange - Kurve

DE LANGE (18) und auch später KELLY (16) gingen dazu über für den Sinusreiz wie er in der Abbildung 2 dargestellt ist und für verschiedene Rechteckformen die Schwellenmodulationstiefe (bei vorgegebener Frequenz wird die Modulationstiefe m variiert, bis die Flimmerschwelle erreicht ist) in Abhängigkeit von der Flimmerfrequenz zu bestimmen. Sie erhielten für verschiedene Netzhautbeleuchtungsstärken die in Abb. 16 gezeigten Übertragungskurven. Diese werden heute als DE LANGE - Kurven bezeichnet.

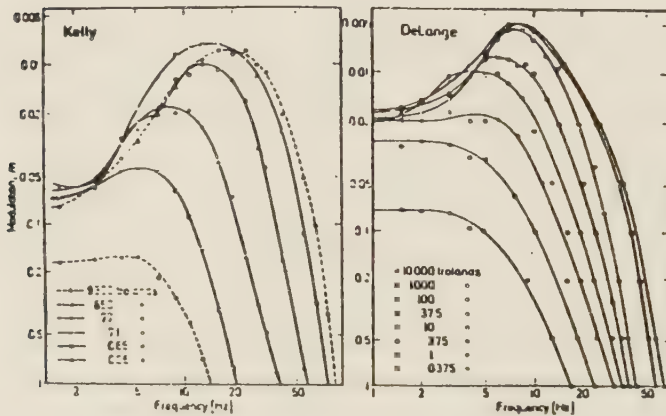


Abb. 16: Die Schwellenmodulationstiefe m als Funktion der Flimmerfrequenz bei verschiedenen Netzhautbeleuchtungsstärken (DE LANGE - Kurven). Foveale Messung, links: 65 Grad Testzeichen, rechts: 2 Grad Testzeichen, 60 Grad Umfeld. (aus KELLY (16))

KEESEY (14) hat De Lange - Kurven für verschiedene Testzeichendurchmesser erstellt und ist zu folgendem Ergebnis gekommen: Mit abnehmender Fläche verschiebt sich das Maximum der Empfindlichkeit zu niedrigeren Frequenzen. Unterhalb von 10 Hz kommt es zu einer Abweichung vom GRANIT - HARPER'schen Gesetz (s. Abschnitt 2.1 und Abb. 17).

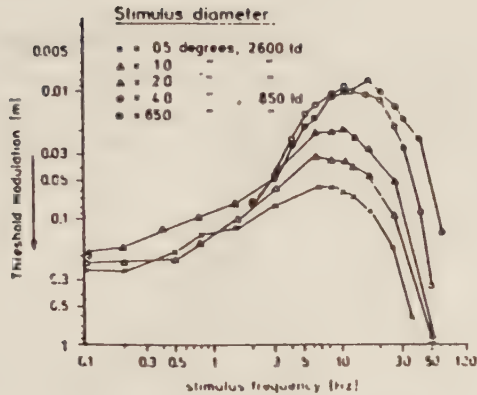


Abb. 17: De Lange - Kurven für verschiedene Testzeichendurchmesser
(aus KEESEY (14))

LACHENMAYR (17) weist auf das unterschiedliche Verhalten zwischen den fovealen und den peripheren De Lange - Kurven im Bereich hoher Flimmerfrequenzen hin. Demzufolge besitzt der Bereich hoher Flimmerfrequenzen in der Peripherie einen ausgeprägten Knick (Hochfrequenzknick), der sich mit zunehmendem Fortschreiten in die Peripherie hin immer deutlicher und breiter darstellt. Die foveale De Lange - Kurve bleibt unbeeinflusst und zeigt einen monotonen Verlauf. Abb. 18 zeigt die Schwellenmodulation als Funktion der Flimmerfrequenz für verschiedene Exzentrizitäten. Die Kurven dieser Abbildung weisen folgende Charakteristika auf: Im "Niederfrequenzbereich" (Frequenzen unter 30 Hz) ist die Flimmerempfindlichkeit in der Fovea größer als in der Peripherie. Im "Hochfrequenzbereich" (Frequenzen über 30 Hz) besitzt dagegen die Peripherie in einem bestimmten Bereich die größere Flimmerempfindlichkeit.

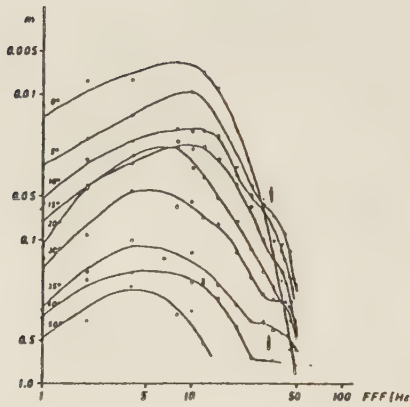


Abb. 18: Die Schwellenmodulation als Funktion der Flimmerfrequenz (De - Lange Kurve) für verschiedene Exzentrizitäten. 0 Grad = foveale De Lange - Kurve (aus LACHENMAYR (17)).

2.3. Bisherige klinische Untersuchungen

Klinische Untersuchungen führten KAYAZAWA et al (12 und 13) 1982 bzw. 1984 an Patienten mit verschiedenen retinalen Erkrankungen durch, nachdem sie vorher eine normalsichtige Referenzgruppe (s. Abb. 19) von zehn Personen zwischen dem 20. und dem 50. Lebensjahr untersucht hatten.

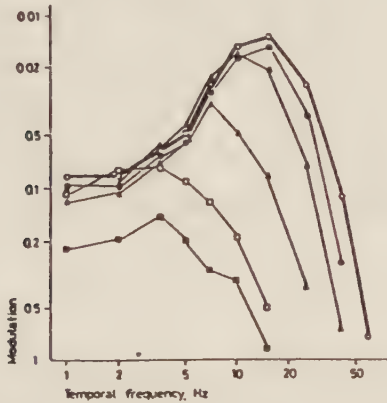


Abb. 19: Zeitliche Übertragungskurven (Temporal Modulation Transfer Function (Temporal MTF)) von normalsichtigen Probanden, bei einer retinalen Beleuchtungsstärke von 1000 ○, 313 ●, 100 △, 10 ▲, 1 □ und 0,3 ■, Troland. Testzeichengröße: 4 Grad, Modulationsform: Sinus. (aus KAYAZAWA (13))

Bei einer Netzhautbeleuchtungsstärke von 1000 Troland zeigt die Kurve einen Gipfel bei 15 Hz. Bei Reduzierung der Leuchtdichte sinkt die Modulationstiefe m zuerst im Hochfrequenzbereich ab. Die Untersuchungen eines 45-jährigen, bzw. eines 50-jährigen Patienten mit Zentralvenenverschuß zeigen die Abb. 20a und 20b. Bemerkenswert ist hier der Hochfrequenzverlust.

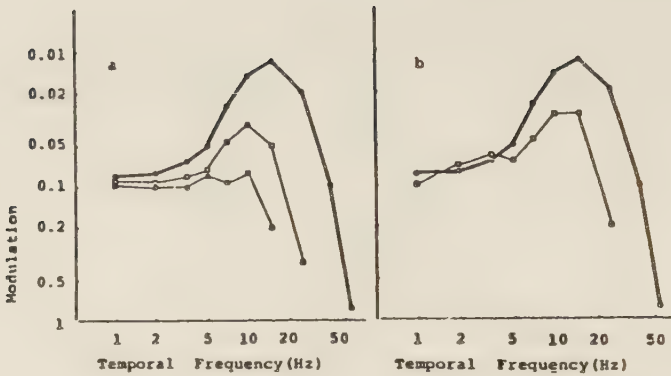


Abb. 20a und 20b: Zwei Patienten mit Zentralvenenverschluß. Versuchsparameter wie oben. Die offenen Kreise zeigen im Vergleich dazu die normale De Lange - Kurve. (aus KAYAZAWA (13))

In der Abb. 21a sind die De Lange - Kurven verschiedener Augenerkrankungen dargestellt. Die ebenfalls dargestellte Kurve der normalsichtigen Probanden erlaubt hier einen Vergleich.

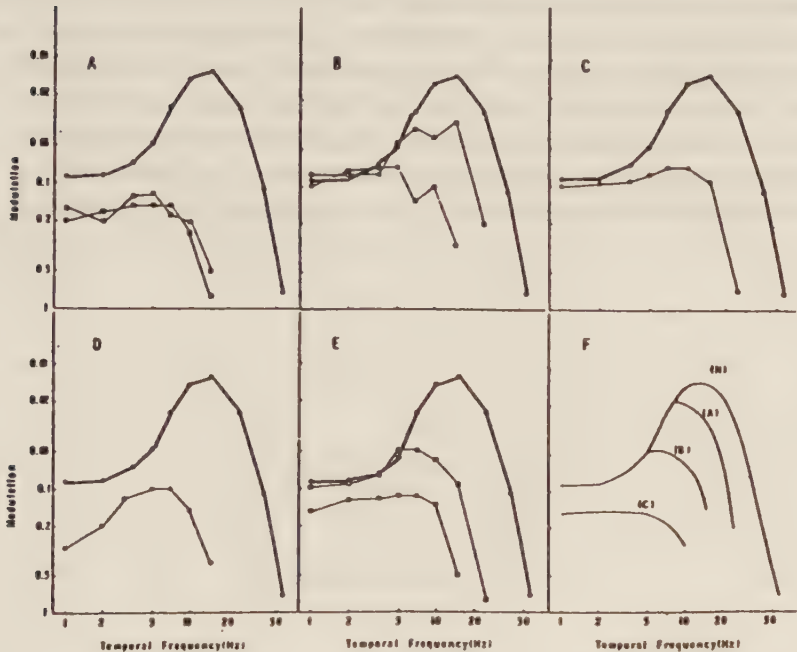


Abb. 21a: Die zeitlichen Übertragungskurven bei retinalen Krankheitsbildern.

A: Zentralvenenverschuß

B: Ablatio retinae

C: X - gebundene juvenile Retinoschisis

D: Morbus Stargardt

E: Senile disciforme Maculadegeneration

F: Zusammenfassung von abnormalen zeitlichen Übertragungskurven bei retinalen Erkrankungen
(aus KAYAZAWA (13))

Weiterhin stellten KAYAZAWA und Mitarbeiter (12) ein Patientengut von 9 Patienten mit Neuritis Nervi Optici (NNO) im Alter von 31 bis 49 Jahren vor (s. Abb. 21b). Sie zeigten auf, daß hier sowohl Visus als auch das zeitliche Übertragungsverhalten reduziert waren, die sich aber im Laufe von Tagen und Wochen wieder normalisierten. Bei den verschiedenen Kurven stellten sie einen Einbruch im Mittel- und Hochfrequenzbereich fest, der sich auch dann noch nicht besserte, obwohl der Visus von 0,1 anfänglich auf inzwischen 0,9 angestiegen war. Schließlich wiesen sie darauf hin, daß sich bei der Besserung der Erkrankung der Niederfrequenzbereich zuerst erholen würde. Selbst bei einem inzwischen erreichten Visus von 1,0 würde ein Hochfrequenzverlust weiterbestehen.

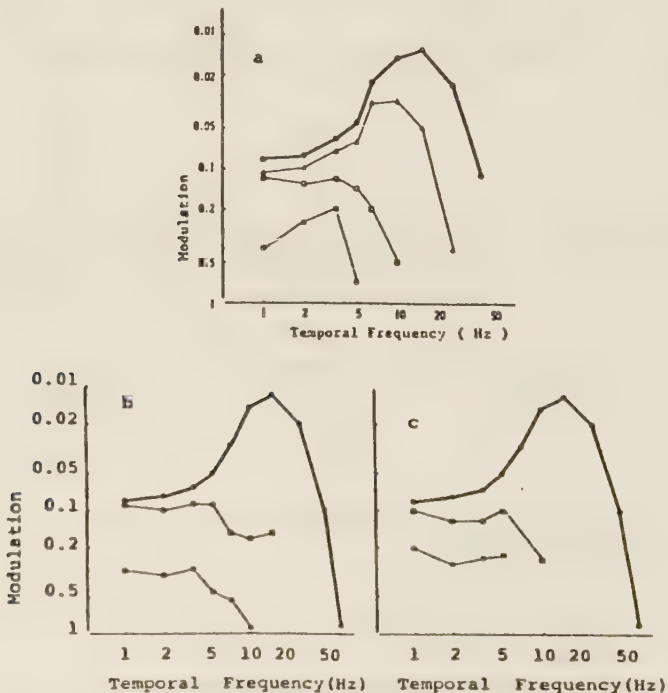


Abb. 21b: Die zeitlichen Übertragungskurven bei Patienten mit Neuritis Nervi Optici (NNO). Bemerkenswert ist die Reduktion der Kurve und der Hochfrequenzverlust. Dargestellt sind die Übertragungskurven verschiedener Patienten (aus KAYAZAWA (13)).

An dieser Stelle sei bereits auf die Arbeit von LACHENMAYR, EGER, GLEISSNER (18) eingegangen, da einige wesentliche Aussagen von KAYAZAWA und Mitarbeitern in Einklang mit dieser Arbeit stehen. Übereinstimmend und unabhängig von den Untersuchungen von KAYAZAWA, stellten auch wir eine Visusreduktion und eine Reduktion der zeitlichen Übertragungseigenschaften, bei NNO mit Erholung beider Parameter fest. Allerdings erholt sich der Niederfrequenzbereich im Gegensatz zum Hochfrequenzbereich schneller. Selbst bei einem Visus von bereits 1,0 zeigt sich in manchen Fällen, daß trotz vollständiger Remission des Niederfrequenzbereiches ein Hochfrequenzverlust weiterbestehen kann. Bei unseren Untersuchungen stellten wir übereinstimmend mit KAYAZAWA fest, daß bei NNO in erster Linie hohe Zeitfrequenzen betroffen sind (s. Abb. 22).

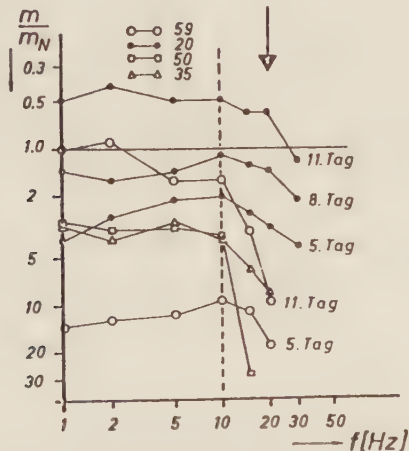


Abb. 22: Faktor der Schwellenerhöhung m/m_N in Abhängigkeit von der Frequenz (Hz) für einige Patienten (Nr. 20, 35, 50, 59) zu verschiedenen Zeiten nach Beschwerdebeginn. Unterhalb 10 Hz ist der Faktor der Schwellenerhöhung unabhängig von der Zeitfrequenz, oberhalb 10 Hz wächst der Faktor mit zunehmender Frequenz rasch an. Dies bedeutet, daß bei akuter NNO die Übertragung hoher Zeitfrequenzen besonders stark beeinträchtigt ist. (aus LACHENMAYR, EGER, GLEISSNER (18))

Ebenso konnte bei einem Visus von 1,0 bei vollständiger Remission eine normale De Lange - Kurve abgeleitet werden (s. Abb.23).

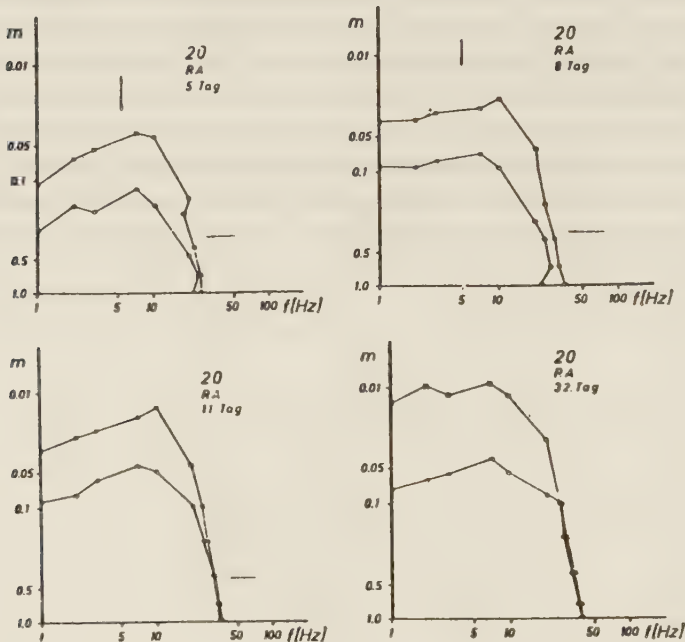


Abb. 23: Typischer Befund und Verlauf der fovealen De Lange - Kurve bei akuter NNO. Dargestellt bei einer 17-jährigen Patientin am rechten Auge. Die Pfeile in den Abbildungen bezeichnen diejenigen Bereiche, in denen gegenüber dem Normalbefund eine Reduktion der De Lange - Kurve vorliegt. (aus LACHENMAYR, EGER, GLEISSNER (18))

Zudem sei darauf hingewiesen, daß die von KAYAZAWA angegebene Normalkurve nicht auf alle Krankheitsbilder angewendet werden kann, da viele Krankheiten bevorzugt in bestimmten Lebensjahren auftreten. Da die NNO gehäuft im 2. bis 3. Lebensjahrzehnt auftritt, sollte streng genommen eine NNO - Kurve nur mit einer Referenzkurve von normalsichtigen Pro-

banden des entsprechenden Lebensalters verglichen werden. An dieser Stelle sei über die weiteren, sehr ausführlichen Untersuchungen bei NNO auf die Arbeit von GLEISSNER (6) verwiesen.

3. Versuchsaufbau

Als zentrales Bauteil wurde ein elektronisches Steuergerät verwendet, das alle wesentlichen Funktionen überwacht und die notwendigen Signale für die Winkelsteuerung und Testzeichenmodulation erzeugt. Für die Reizdarbietung wurde ein handelsübliches Halbkugelprojektionsperimeter umgebaut und um eine Winkelsteuerung erweitert (s. BRETTEL (4) und LACHENMAYR (17)).

Das umgebaute Perimeter kann mit einer Glühlampe (8V/50 Watt) im Innern homogen ausgeleuchtet werden. Sowohl die Lage der Beleuchtungsvorrichtung (tangential am Oberrand der Kugelschale), als auch die Oberflächenbeschaffenheit (weißer Mattlack) der Perimeterwand lassen eine an allen Stellen des Perimeters gleichmäßige Leuchtdichte entstehen. Im Halbkugelzentrum ist in einer kreisrunden Öffnung das Testzeichen mit einem Durchmesser von 1 Grad untergebracht.

Das elektronische Steuergerät bringt die Fixationsmarke in die entsprechende Stellung, gibt die anzubietende Flimmerfrequenz an und erzeugt das Modulationssignal in Form eines Rechteck- oder Sinusreizes. Am Steuergerät sind verschiedene Bedienelemente angebracht: Ein Potentiometer zur Voreinstellung der Flimmerfrequenz und eine Taste zur Reizauslösung, mit der Einzel- und Dauerreize eingestellt werden können. Mit einem Oszillographen wird die Reizform und Reizgröße überwacht.

Das Testzeichen ist eine Leuchtdiode in einem auswechselbaren Steckein-satz mit einer Alu-Hülse. Die dem Probanden sichtbare Fläche der Hülse wurde ebenfalls mit weißem Mattlack überzogen. Der Öffnungswinkel des dargebotenen Testzeichens beträgt (bezogen auf das Halbkugelzentrum) 1 Grad. Das modulierte Licht fällt durch die Testzeichenöffnung auf das Auge der Versuchsperson. Testreiz und Umfeldleuchtdichte sind unabhängig voneinander. Der über das Testzeichen dargebotene Flimmerreiz kann am Steuergerät vom Untersucher hinsichtlich Dauer, sowie der Anstiegs- und Abfallzeit variiert werden (s. Abb.24).

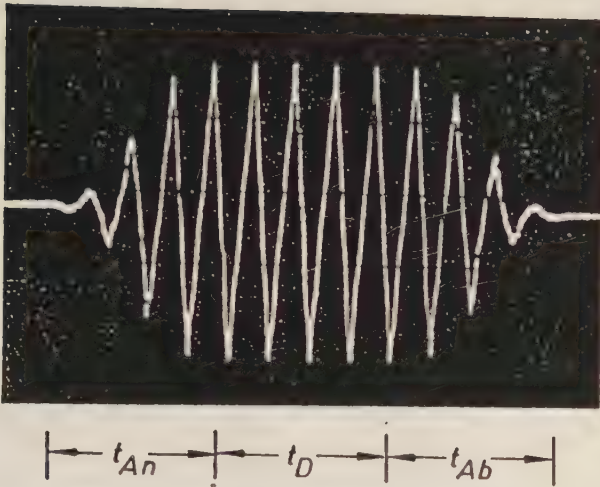


Abb. 24: Der Flimmerreiz in seinem zeitlichen Gesamtverlauf. Hier sei als Beispiel eine dreieckförmige, symmetrische Modulationsform dargestellt (Oszillogramm).

t_{An} = Anstiegszeit, t_D = Dauer oder Plateauzeit, t_{Ab} = Abfallzeit

Alle Messungen wurden monokular durchgeführt. Bei fovealer Messung fixiert das Auge der Versuchsperson oder des Patienten das Testzeichen im Zentrum der Halbkugel des gleichmäßig ausgeleuchteten Perimeters. Bei der peripheren Messung wird die Perimetertestmarke an eine Stelle der Halbkugel projiziert und dient als Fixationsmarke, wobei - reziprok zu dem Verhalten der herkömmlichen Perimetrie - hier eine periphere Testmarke bei zu beurteilendem zentralen Testzeichen fixiert wird. Das Flimmertestzeichen erscheint im Scheitelpunkt der Halbkugel.

Die Abbildungen 25, 26 und 27 zeigen den Aufbau der gesamten Apparatur wie sie für die Versuche verwendet wurde.

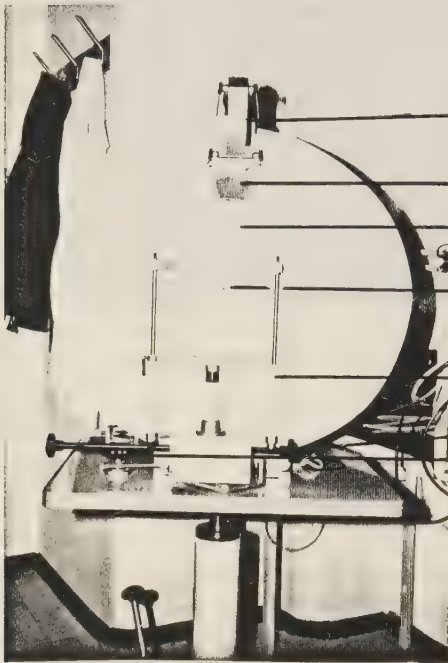


Abb. 25: Perimeter

- 1 Glühlampe
- 2 Projektorkopf für
Fixationspunkt
- 3 Perimeterschale
- 4 Testzeichen
(Größe: 1 Grad)
- 5 Kopfstütze
- 6 Höhenverstellung der
Kopfstütze
- 7 Querverstellung der
Kopfstütze

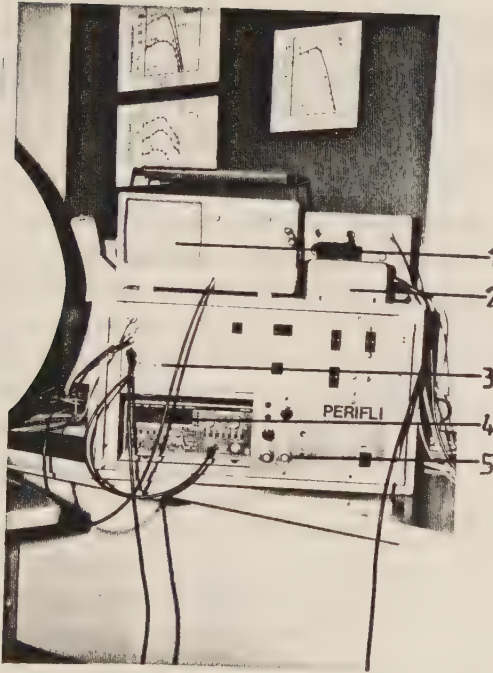


Abb. 26: Steuergerät

- 1 Oszilloskop
- 2 Wendelpotentiometer zur
Grob/Feineinstellung
der Modulationstiefe
- 3 Potentiometer zur
Frequenzverstellung
- 4 Frequenzzähler
- 5 Frequenzgenerator

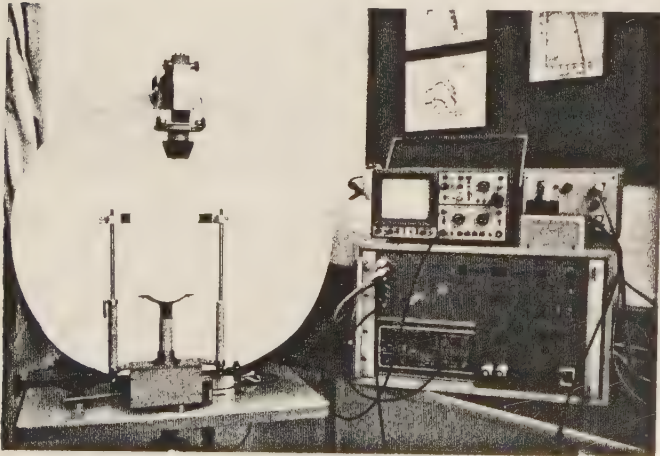


Abb. 27: Gesamtdarstellung der Apparatur

4. Meßmethode

4.1. Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz und der Flimmerperimetrie

Die Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz erfolgt bei maximaler Rechteckmodulation ($m = 1,0$), wobei die mittlere Testzeichenleuchtdichte gleich der Umfeldleuchtdichte von 50 cd/m^2 ist. Bei der Messung der peripheren FFF fixiert der Patient mit dem zu untersuchenden Auge eine Testmarke mit dem Durchmesser von $0,25^\circ$, die auf dem zu untersuchenden horizontalen oder vertikalen Gesichtsfeldmeridian auf verschiedene Positionen projiziert werden kann. Der zeitlich modulierte Testreiz befindet sich im Zentrum der Halbkugel. Somit muß nun das Auge die exzentrisch auf dem Gesichtsfeldmeridian liegende Testmarke fixieren, um den zentral gelegenen, zeitlich modulierten Testreiz wahrnehmen und beurteilen zu können. Die Ermittlung der Schwelle für die FFF wird mit konstanten Einzelreizen durchgeführt, da eine Dauerreizdarbietung vor allem bei peripheren Messungen aufgrund der Frequenzadaptation falsche Werte ergeben würde. Bei der Durchführung der Untersuchung werden jeweils drei unter- und überschwellige Werte gemittelt. Die Messung der horizontalen und vertikalen Meridiane erfolgte in 5 Grad Schritten.

4.2. Messung der fovealen De Lange - Kurve

Die Messung der fovealen De Lange - Kurve zur Ermittlung der Flimmerschwelle kann mit zwei verschiedenen Methoden vorgenommen werden. Bei der Methode der Dauerreizdarbietung, wird eine permanente, stufenlose Annäherung des Reizes an die Reizschwelle durchgeführt. Im Niederfrequenzbereich wird bei konstanter Frequenz die Modulation m ständig so verändert, bis die subjektive Unterschiedsschwelle gerade unter- bzw. überschritten ist. Der Versuchsleiter nähert sich nun abwechselnd von deutlich überschwelligen, bzw. deutlich unterschwelligen Modulationswerten der Flimmerschwelle, wobei als Einstellungskriterium "Flimmern gerade nicht mehr wahrnehmbar" bzw. "Flimmern gerade wahrnehmbar" dient. Der Untersucher liest den entsprechenden Wert ab.

Im Hochfrequenzbereich erfolgt die Bestimmung der Flimmerschwelle bei vorgegebener Modulationstiefe durch Variieren der Frequenz. Wie der Verlauf der De Lange - Kurve zeigt, ergänzen sich die beiden Verfahren in dem jeweils gültigen Bereich (s.Abb. 28).

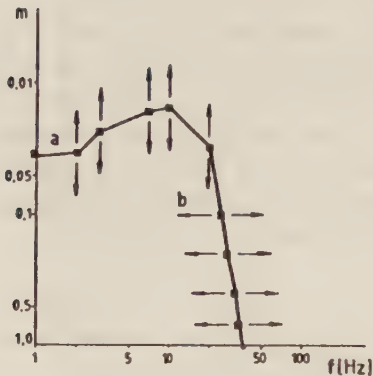


Abb. 28: Die beiden Meßmethoden zur Ableitung einer De Lange - Kurve

Niederfrequenzbereich:

$f = \text{constant}$

$m = \text{variabel}$

Hochfrequenzbereich:

$f = \text{variabel}$

$m = \text{constant}$

Bei der modifizierten Einstellmethode mit Darbietung konstanter Einzelreize, erfolgt die Annäherung an die Schwelle schrittweise. Die Reizdauer beträgt 1,5 sec., wovon auf Anstiegs - und Abfallzeit, sowie auf die Plateauzeit jeweils 0,5 sec. entfallen. Zur exakten Reizdarbietung wurde ein langsamer Reizanstieg und Reizabfall gewählt.

Der Grund für die Verwendung dieser Untersuchungsmethode liegt darin begründet, daß bei photopischer Adaptation die Peripherie gegenüber der Fovea eine größere Flimmerempfindlichkeit aufweist. Dies hätte bei der Wahl der Dauerreizdarbietung im Hochfrequenzbereich folgende Nachteile: Durch mögliche Suchbewegungen käme es zu unvermeidbaren Fixationsschwankungen. Ebenso würde eine ausgeprägte Frequenzadaptation erneut zu Fehlmessungen führen. Im Niederfrequenzbereich dagegen kann die Dauerreizdarbietung problemlos angewendet werden, da hier die Fovea die höchste Empfindlichkeit aufweist.

Durchführung der Messung:

Der Patient wird in Meßposition gebracht, wobei sein zu untersuchendes Auge das Testzeichen fixiert. Das nicht untersuchte Auge wird mit einer Augenklappe zugedeckt. Nach Vorgabe von 1 Hz verringert dann der Untersucher die Modulation solange, bis die Reizschwelle unterschritten wird, d.h. der Patient nimmt das Flimmern gerade nicht mehr wahr. Bei der Unterschreitung der Schwelle gibt der Patient sofort ein Zeichen. Anschließend wird von deutlich unterhalb der Schwelle liegender Modulation, diese erhöht, bis der Patient subjektiv das Flimmern gerade wieder wahrnimmt. Die Messung wird dreimal jeweils von ober - und unter-schwellig wiederholt und davon der arithmetische Mittelwert bestimmt. Die Auswertung der Werte für m erfolgt mittels einer Eichkurve (s. Abb. 29). Dabei werden die Werte von m als Skalenteile der Eichkurve abgelesen und in die Modulationstiefen umgerechnet.

Die gesamten Messungen erfolgten unter Darbietung von Sinusreizen. Lediglich im Hochfrequenzbereich wurden zur Ermittlung der FFF, wegen der Erhöhung der effektiven Modulation, Rechteckreize dargeboten.

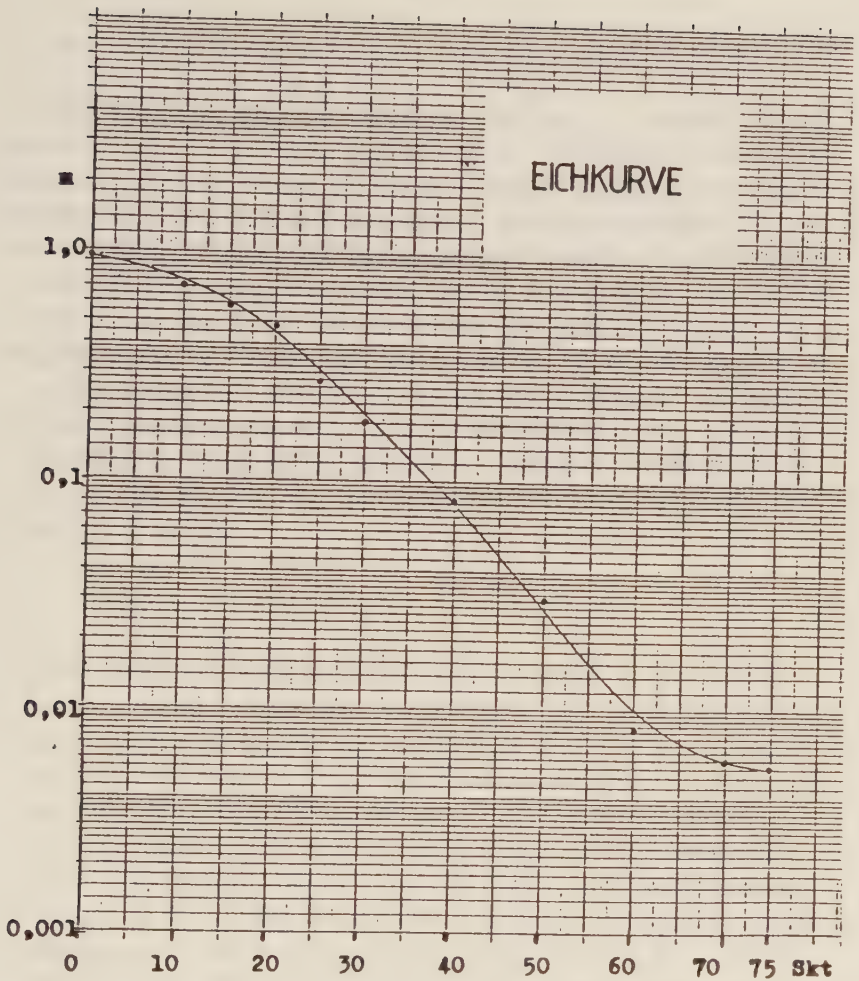


Abb. 29: Eichkurve. Zusammenhang zwischen m und den Skalenteilen, entsprechend der nicht linearen Kennlinie der als Stimulus dienenden Leuchtdiode.

m = gemessene Leuchtdichte des Stimulus

Skalenteile = Potentiometereinstellungen bei verschiedenen Widerständen

4.3. Fehlerbetrachtung

Die bei den unter 4.1. und 4.2. genannten Meßverfahren auftretenden Fehlermöglichkeiten können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zur Gruppe der "Objektiven Fehler" gehören die Fehler, die bei der Einstellung oder der Ermittlung der objektiven Versuchsparameter auftreten (Leuchtdichte, Modulationstiefe, Flimmerfrequenz und Exzentrizität). Diese "Objektiven Fehler" haben einen Einfluß auf die Meßgenauigkeit und die Meßergebnisse und können generell bei allen durchgeführten Messungen auftreten. Die "Subjektiven Fehler" beziehen sich auf den psychophysikalischen Teil der Messung und haben Einfluß auf die subjektiven Kriterien der Versuchsperson. Hierzu gehören die Einstellung zur Untersuchung, Konzentration und Ermüdung, Intelligenz etc. Sie schwanken sowohl von Versuchsperson zu Versuchsperson als auch bei derselben Versuchsperson.

5. Untersuchung bei normalsichtigen Probanden

5.1. Auswahlkriterien

Die normalsichtigen Probanden wurden in vier Altersgruppen eingeteilt (in die 21 - 30-; die 31 - 40-; die 41 - 50- und in die 51 - 60-jährigen). Die Absicht dieser Einteilung besteht darin, den in bestimmten Altersgruppen am häufigsten auftretenden Erkrankungen eine normalsichtige Referenzpopulation gegenüberzustellen, um somit eine exakte Aussage über die gewonnenen Meßergebnisse zu treffen. Untersucht wurden in jeder Altersgruppe jeweils zehn normalsichtige Probanden. Die Messung erfolgte bei einer Leuchtdichte von 50 cd/m^2 und einer Testzeichengröße von 1 Grad bei bester Brillenkorrektur. Im Bezug auf klinische Untersuchung und Visus waren bei allen Probanden keine pathologischen Veränderungen erkennbar.

5.2. Ergebnisse und Diskussion

Ein Vergleich der Mittelwertkurven der Abbildungen 30 mit 33 zeigt deutlich, daß mit zunehmendem Alter die De Lange - Kurve sich zusehends von Altersstufe zu Altersstufe schrittweise reduziert (die durchgezogenen Linien zeigen den unterschwelligen Kurvenanteil und die unterbrochenen Linien kennzeichnen den überschwelligen Kurvenverlauf). Das zeitliche Auflösungsvermögen der Fovea bei den 21 - 30-jährigen steigt im Niederfrequenzbereich von der LBI bis zu einem Maximum von ca. 7 Hz an. Bei den anderen Altersstufen hingegen sinkt zunächst im Niederfrequenzbereich das Auflösungsvermögen ab. In den Abb. 31, 32 und 33 senken sich die Kurven kurz ab und erreichen ihren Höhepunkt bei ca. 10 Hz. Die gleiche Modulationstiefe wie in Abb. 30 wird aber nicht wieder erreicht. Im Hochfrequenzbereich sind die Mittelwertkurven ebenfalls von Altersstufe zu Altersstufe, besonders im Bereich der Flimmererschmelzungsfrequenz, deutlich reduziert. Abbildung 34 zeigt die Kurve der normalsichtigen Probanden im Alter von 21 bis 60 Jahren. Sie stellt das Mittel über alle normalsichtigen Probanden dar.

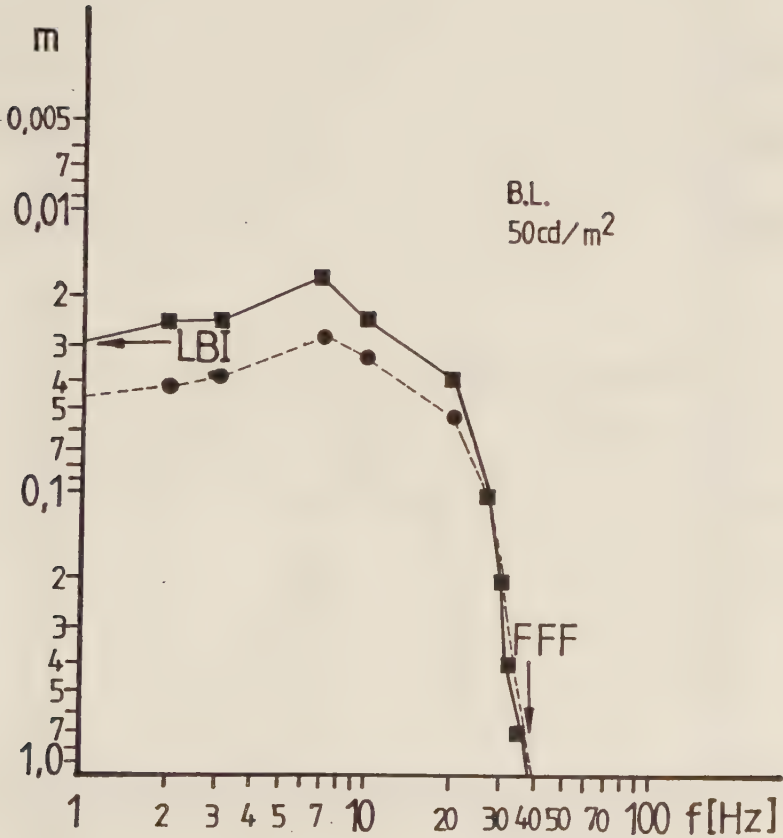
Auf diese Reduktion wurde auch in den Abbildungen 35 mit 38 durch die Berechnung und Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung m/m_N hingewiesen. m_N stellt den Mittelwert aller normalsichtigen Kurven dar (s. Abb. 34).

Er wird als Funktion der Frequenz gegenüber dem Normwert aufgetragen. m ist hier das Mittel der Modulationstiefen über alle Altersstufen. Ein Anstieg von m/m_N über 1,0 ist im höheren Alter nicht als pathologisch anzusehen, sondern stellt für die entsprechende Altersgruppe den entsprechenden Mittelwert dar.

Es folgt aus der Berechnung und der Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung, daß sich im fast gesamten Frequenzbereich die Schwelle von Altersstufe zu Altersstufe konstant erhöht. Aufgrund des horizontalen Kurvenverlaufs darf davon ausgegangen werden, daß die Schwelle im Alter ohne Bevorzugung bestimmter Frequenzbereiche gleichmäßig erhöht ist. Die entsprechende De Lange - Kurve verdeutlicht dies nochmals.

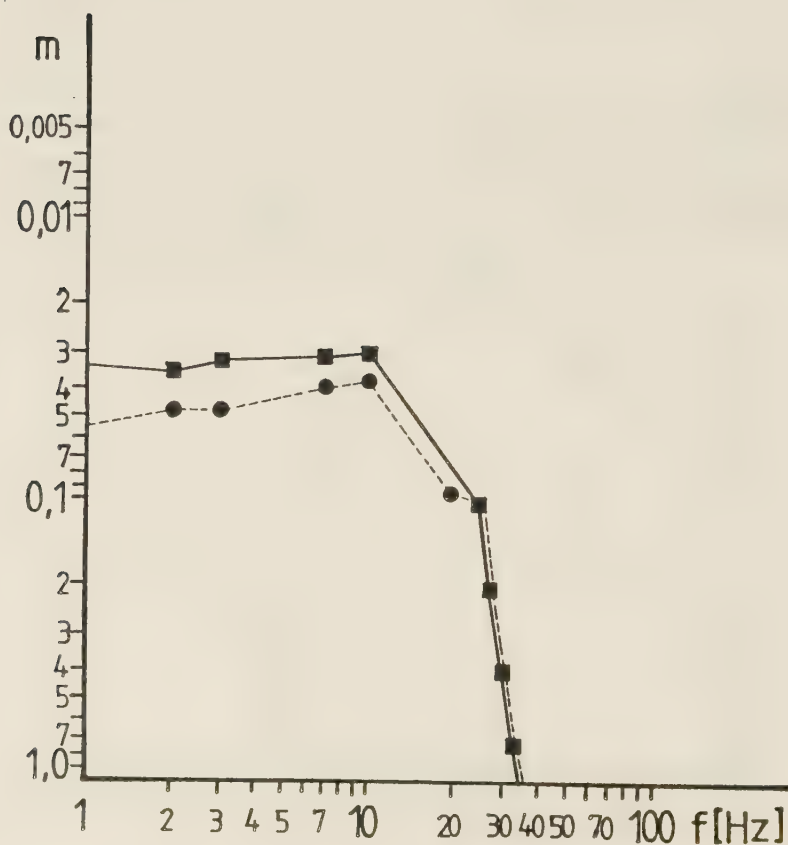
Normalsichtige Probanden
MITTELWERTKURVE bei 21 - 30-jährigen
n = 10

Abb. 30



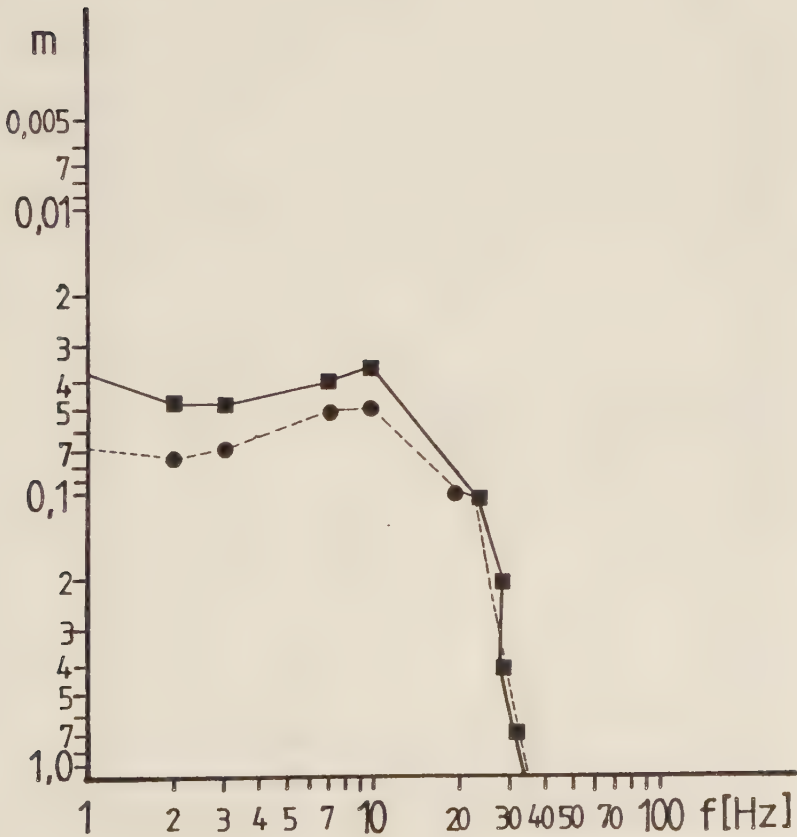
Normalsichtige Probanden
MITTELWERTKURVE bei 31 - 40-jährigen
 $n = 10$

Abb. 31



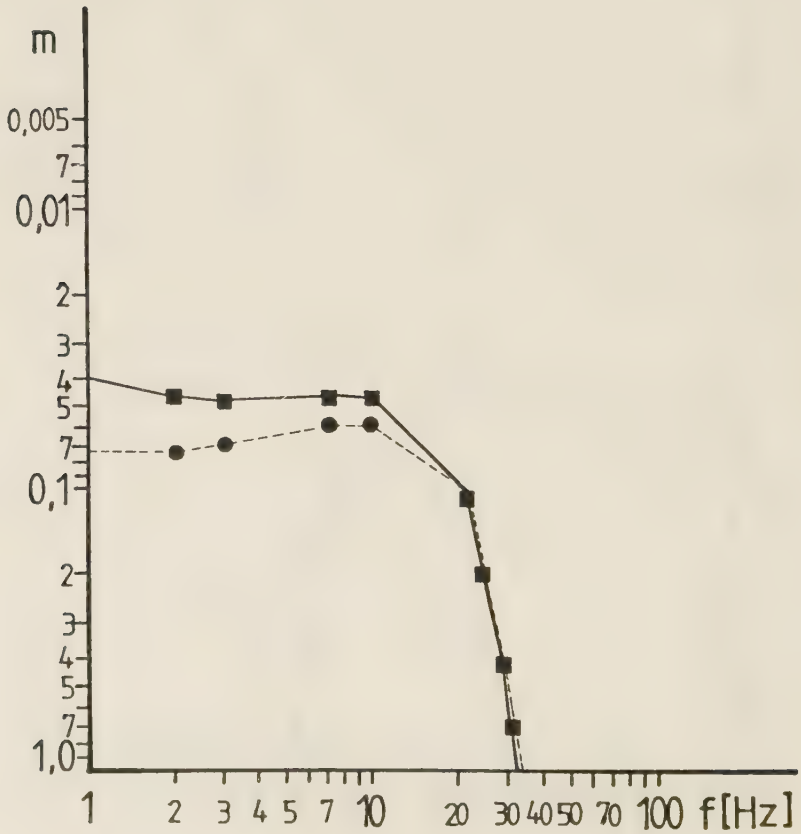
Normalsichtige Probanden
MITTELWERTKURVE bei 41 - 50 -jährigen
n = 10

Abb. 32



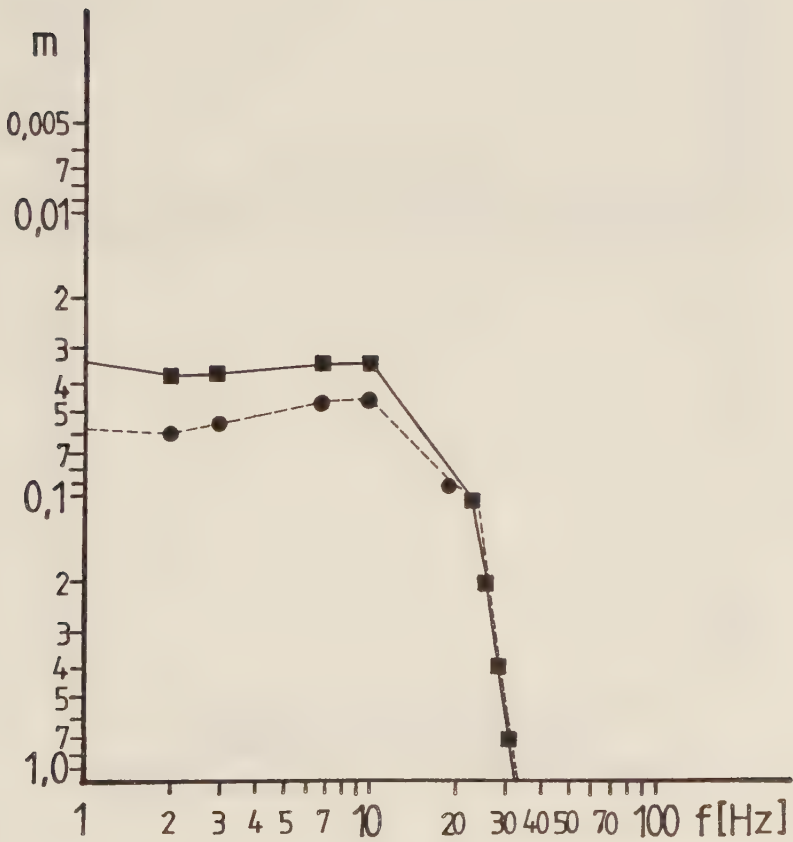
Normalsichtige Probanden
MITTELWERTKURVE bei 51 - 60-jährigen
n = 10

Abb. 33



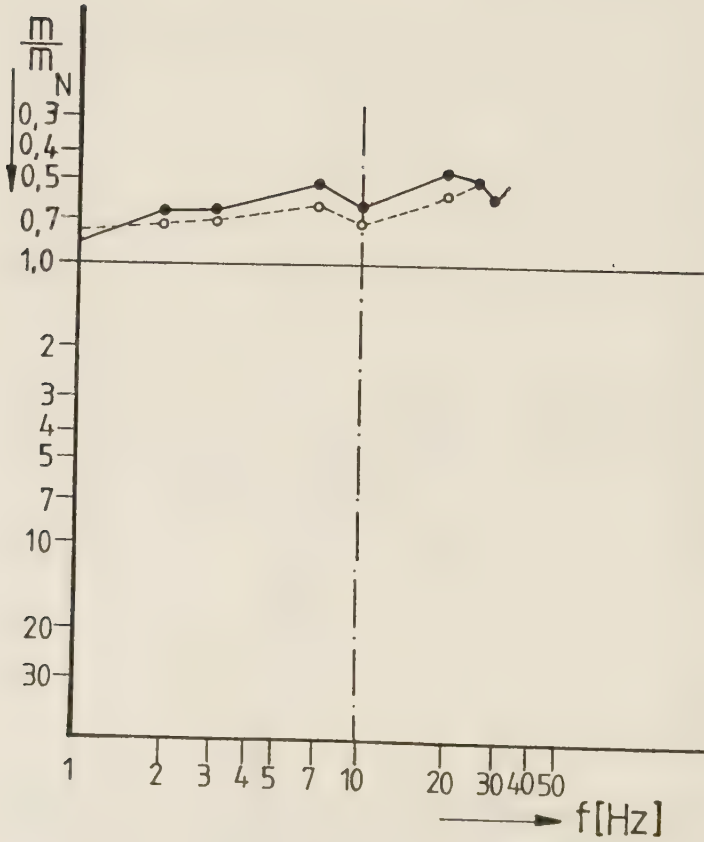
Normalsichtige Probanden
MITTELWERTKURVE bei 21 - 60-jährigen
n = 40

Abb. 34



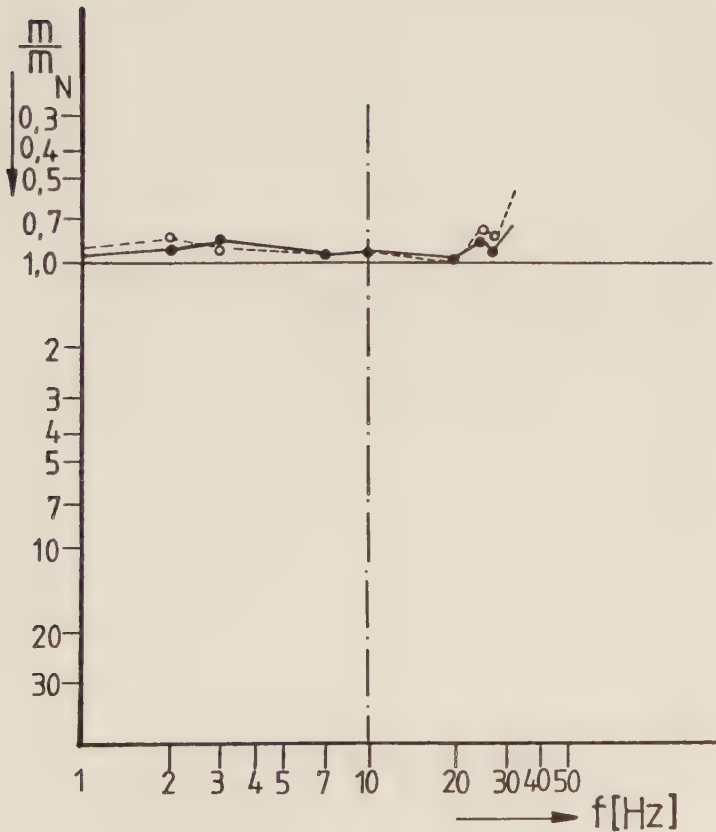
Normalsichtige Probanden
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG bei
21 - 30-jährigen

Abb. 35



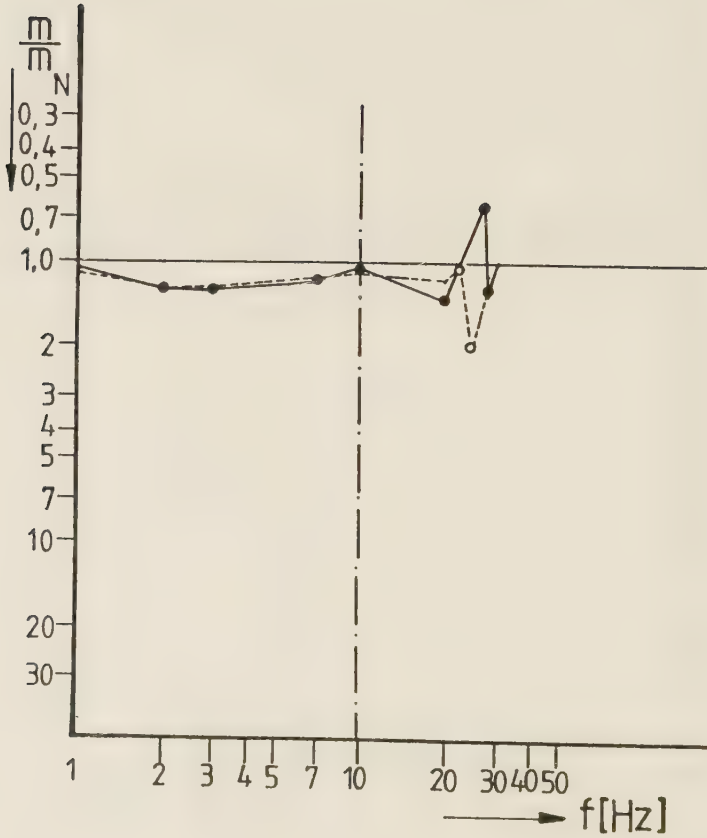
Normalsichtige Probanden
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG bei
31 - 40 - jährigen

Abb. 36



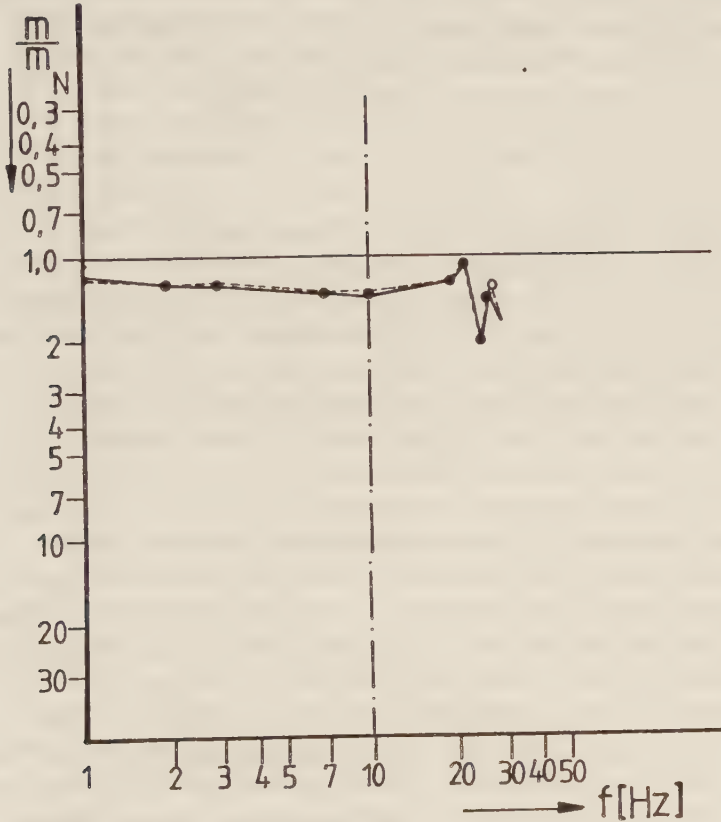
Normalsichtige Probanden
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG bei
41 - 50 - jährigen

Abb. 37



Normalsichtige Probanden
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG bei
51 - 60 -jährigen

Abb. 28



6. Patienten mit vaskulärem Papillenödem

6.1. Definition

Im nachfolgenden Teil der Arbeit soll der Begriff Vaskuläres Papillen-ödem folgende Situation kennzeichnen: Das Vaskuläre Papillenödem ist ein nicht durch Entzündung hervorgerufenes Ödem des Sehnervenkopfes aufgrund einer lokalen Durchblutungsstörung. Eine klinisch synonyme Bezeichnung dafür ist der Begriff "Appoplexia Papillae". Zur weiteren Begriffserklärung sei auf YANNUZZI, GITTER, SCHATZ (25) verwiesen.

6.2. Auswahlkriterien

Im Zeitraum der Erprobung dieser Untersuchungsmethode wurde ein Patientenkollektiv mit vaskulärem Papillenödem untersucht. Die Untersuchung der Patienten erfolgte erst nach klinischer Diagnosesicherung. Im Rahmen der Arbeit wird der Versuch unternommen, bei diesen Patienten krankheitsspezifische Erscheinungen in der Ableitung der De Lange - Kurven, der Berechnung und Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung, sowie in der Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung als Funktion des jeweiligen Visus, zu erkennen.

Zunächst wurde eine foveale De Lange - Kurve aus den Mittelwerten der Patienten erstellt (s. Abb. 39). Aus diesen Patienten wurden stellvertretend für dieses Krankheitsbild die De Lange - Kurve einer 52- und einer 73-jährigen Patientin herausgegriffen und interpretiert, sowie der Faktor der Schwellenerhöhung berechnet. Gleichzeitig wurde bei einer 61-jährigen Patientin der Versuch unternommen, das Krankheitsbild in seinem zeitlichen Verlauf zu erfassen, um darüber Aussagen zu treffen. Ebenso wurde auch hier der Faktor der Schwellenerhöhung im Verlauf dargestellt. Als Bezugskurve wurde die Kurve der normalsichtigen Probanden in der Altersstufe der 51 - 60-jährigen angenommen. Exemplarisch für die Erkrankung sollen in dieser Arbeit die nachfolgenden Ergebnisse stehen.

6.3. Ergebnisse und Diskussion

Die foveale De Lange - Kurve der Mittelwerte der Patienten (s.Abb. 39) ist, verglichen mit der Kurve der normalsichtigen Probanden - als Referenzkurve (s.Abb. 33) - in ihrer Gesamtheit reduziert.

Stellvertretend für dieses Krankheitsbild sollen die De Lange - Kurven der drei Patientinnen, sowie die daraus resultierende Berechnung des Faktors der Schwellenerhöhung stehen (s.Abb. 40, 42 und 44). Klinisch findet sich eine Visusreduktion. Der Visus liegt bei diesen drei Patientinnen zwischen 0,2 und 0,3.

Gemeinsamkeiten zeigen auch die graphischen Darstellungen des Faktors der Schwellenerhöhung in den Abb. 41, 43 und 47. In allen drei Fällen findet man eine massive Erhöhung des Faktors der Schwellenerhöhung gegenüber der Norm, die der horizontalen Linie bei $m/m_N = 1,0$ entspricht. In diesem Fall steht m nicht für das gesamte Mittel, sondern für die altersentsprechenden Normalwertkurven. Hier erkennt man nur eine geringe Reduktion hoher Frequenzen, da der Faktor praktisch frequenzunabhängig ist. Dies zeigt auch der Vergleich mit den dazugehörigen De Lange - Kurven. Klinisch korreliert diese Zunahme der Schwellenerhöhung mit einem Visusverlust. In den Abbildungen 44 mit 47 wird der Krankheitsverlauf einer 61-jährigen Patientin zu drei Zeitpunkten dargestellt. Der Verlauf V_0 in Abb. 44 stellt die Erstuntersuchung dar. Es zeigt sich eine Reduktion der Flimmerempfindlichkeit im gesamten Frequenzbereich. Die FFF ist deutlich reduziert und liegt bei ca. 20 bis 22 Hz. Abb. 45 zeigt die erste Verlaufskontrolle nach 18 Tagen mit einer geringfügigen Besserung. V_2 in Abb. 46 zeigt nach weiteren 27 Tagen eine nur noch sehr gering ausgeprägte Besserungstendenz. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhanges sei auf die Berechnung der Schwellenerhöhung in Abb. 47 hingewiesen. Die FFF zeigt eine geringe Besserung des Krankheitsverlaufes zum Zeitpunkt der verschiedenen Untersuchungen. Ob allerdings eine Vollremission des Krankheitsbildes, sowohl von der klinischen Seite, als auch von der zunehmenden Normalisierung der Kurven mit Annäherung an die Kurven in Abb. 33 erreicht wurde, ist nicht bekannt und auch nicht zu erwarten.

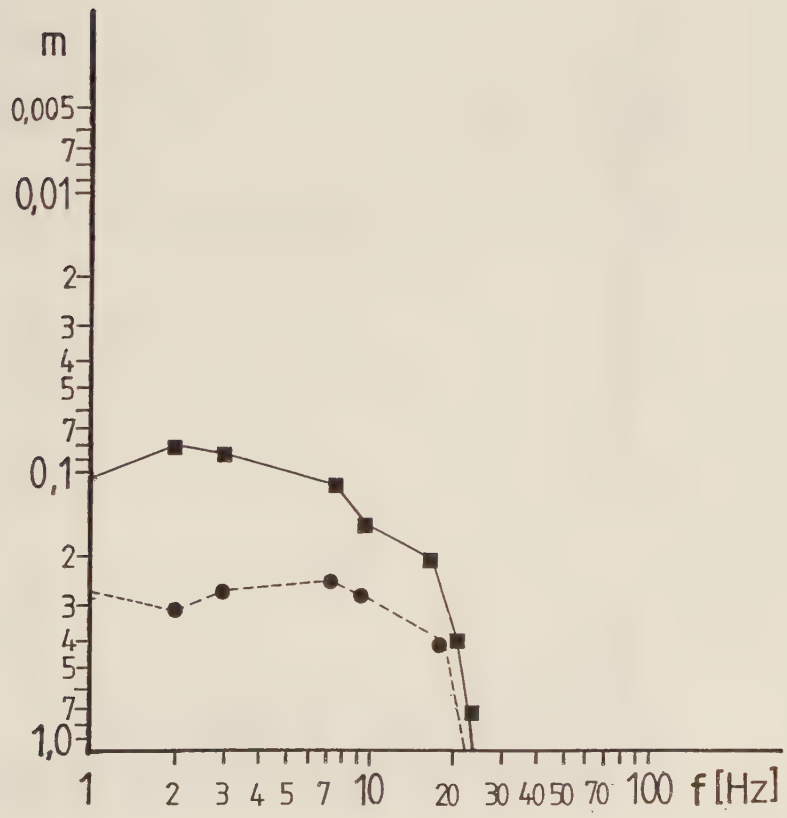
An dieser Stelle soll ein kurzer Vergleich zwischen Patienten mit akuter NNO und Patienten mit vaskulärem Papillenödem vorgenommen werden. Bei beiden Krankheitsbildern zeigen die De Lange - Kurven eine massive Reduktion der Flimmerempfindlichkeit in allen Frequenzen. Bei der akuten NNO findet man diese Ausprägung hauptsächlich im Hochfrequenzbereich. In den Verlaufskurven sei auf die in der Regel geringen Zeitmaßstäbe der Erholung und der damit verbundenen guten Besserungstendenz der Erkrankung hingewiesen. Patienten mit vaskulärem Papillenödem zeigen dagegen eine deutlich geringere Besserungstendenz als Patienten mit akuter NNO, die im Gegensatz dazu ein rasches Remissionsverhalten zeigen.

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal sei auf die Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung als Funktion des jeweiligen Visus hingewiesen (s. Abb. 48 und 49). Dargestellt wurde er bei jeweils 2 Hz und 20 Hz. Bei akuter NNO ergibt sich in beiden Fällen eine diffuse Punktwolke, die keine Korrelation zuläßt (s. GLEISSNER (6)). Beim vaskulärem Papillenödem zeigen die dargestellten Punkte bei 2 Hz keine feste Korrelation. Im Hochfrequenzbereich liegen diese Punkte jedoch fast annähernd parallel zur Winkelhalbierenden ($1/\text{Visus} = m/m_N$). Das bedeutet, daß beim vaskulärem Papillenödem die Auftragung der Schwellenerhöhung gegen den Visus bei 20 Hz eine eindeutige Korrelation zwischen Visus und Schwellenerhöhung ergibt.

Des weiteren zeigt der Abfall der Schwellenerhöhung im Hochfrequenzbereich eine deutlichere Ausprägung als bei der NNO. Die Aussage, es bestünde ein klarer Zusammenhang zwischen Schwellenerhöhung und Visus kann bei der NNO nicht gemacht werden.

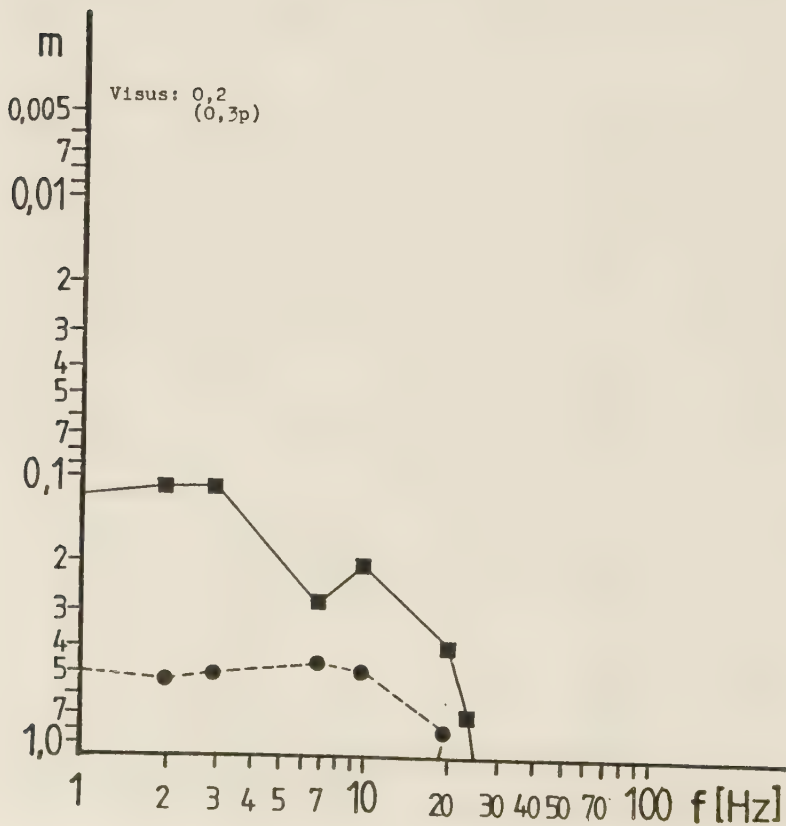
Vaskuläres Papillenödem
MITTELWERTKURVE
(n = 3)

Abb. 29



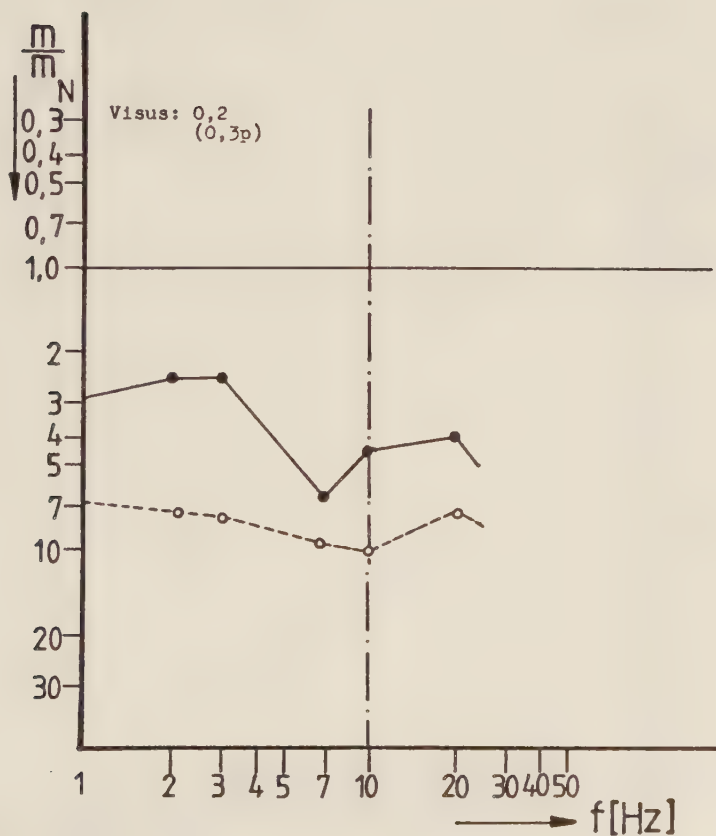
Vaskuläres Papillenödem
52-jährige Patientin

Abb. 40



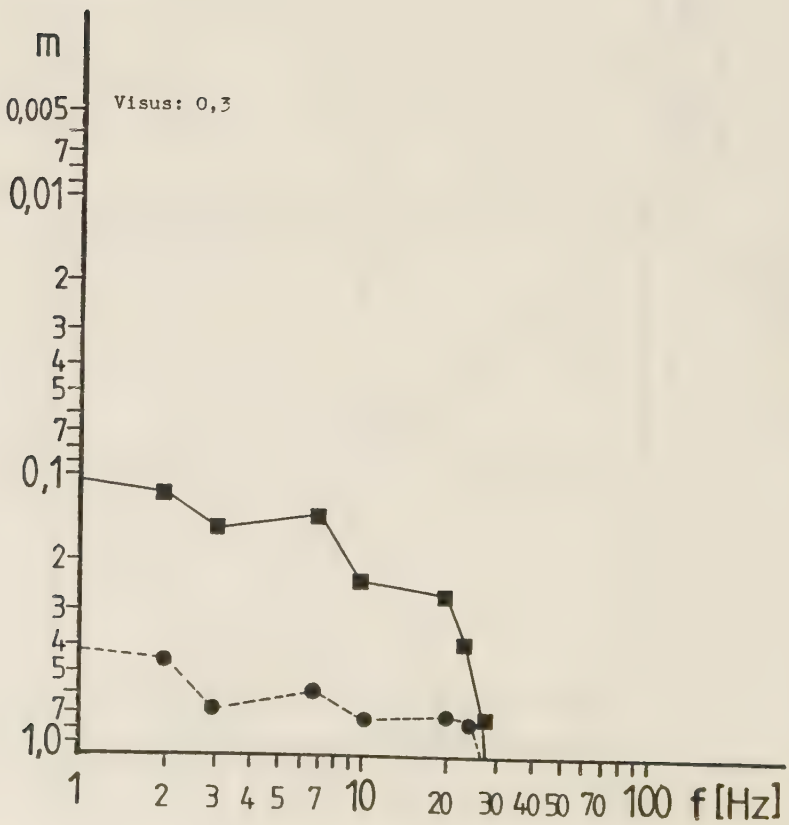
Vaskuläres Papillenödem
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
52-jährige Patientin

Abb. 41



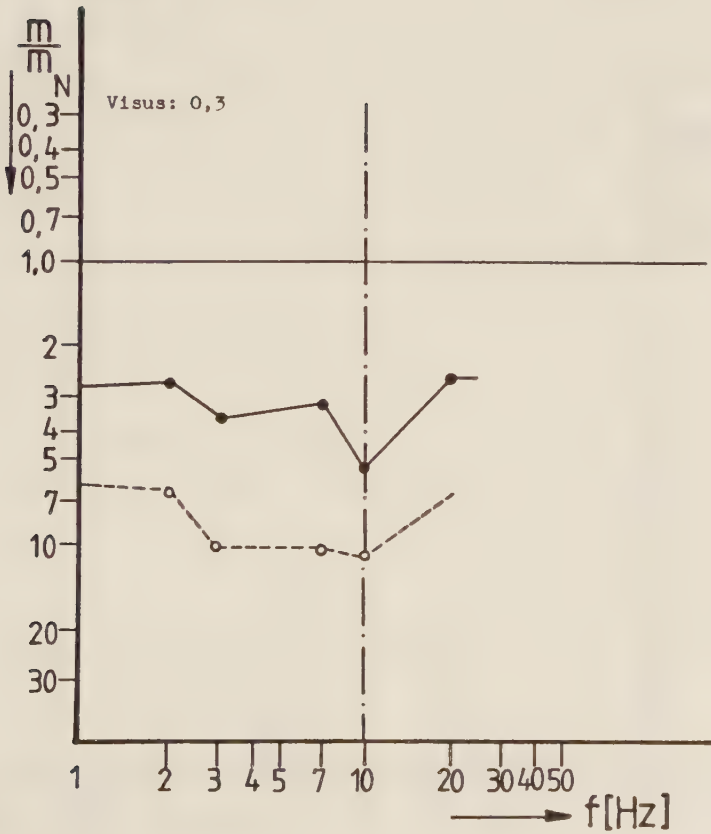
Vaskuläres Papillenödem
73-jährige Patientin

Abb. 42



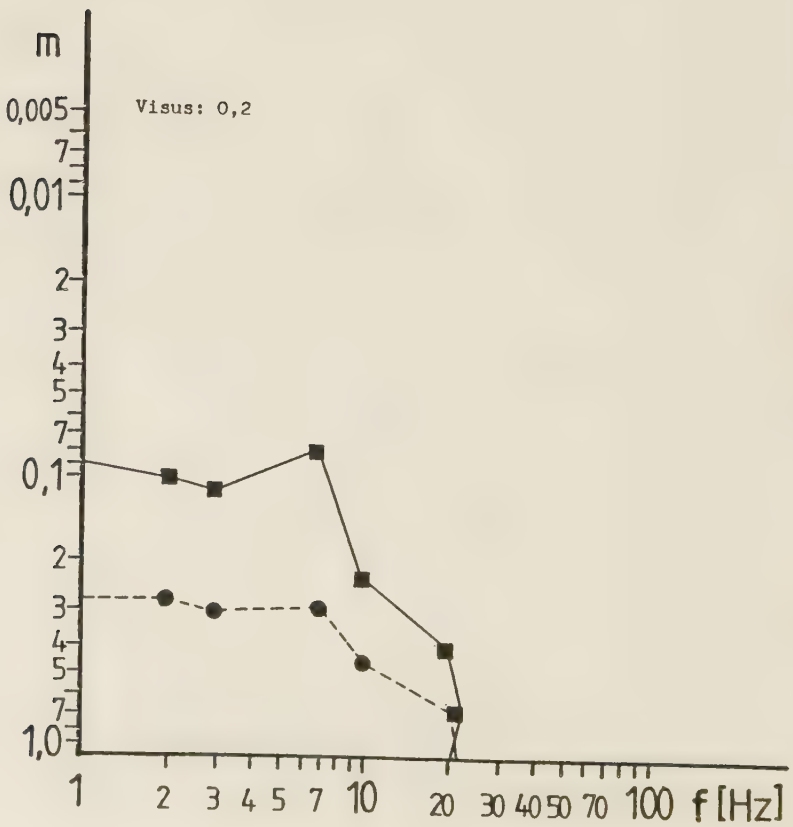
Vaskuläres Papillenödem
FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
73-jährige Patientin

Abb. 43



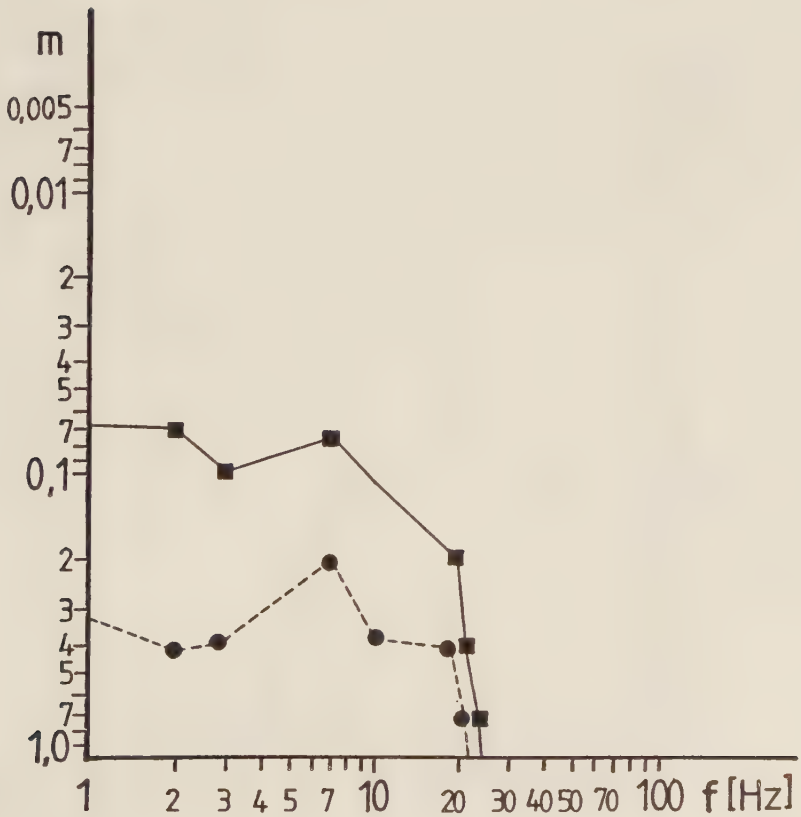
Vaskuläres Papillenödem
61-jährige Patientin
V₀: 12.3.1984

Abb. 44



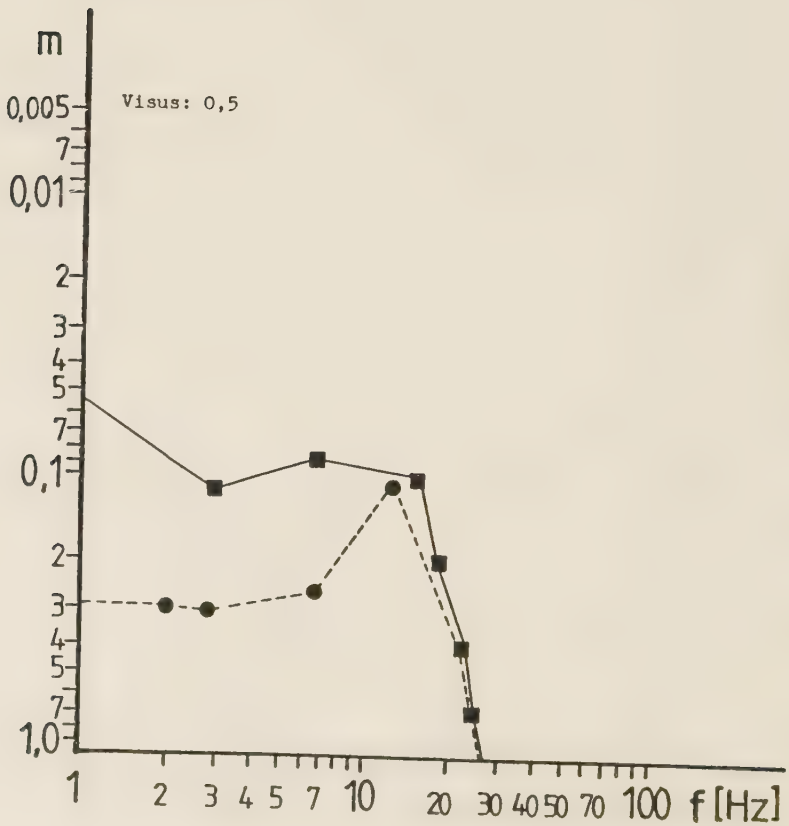
Vaskuläres Papillenödem
61-jährige Patientin
V₁: 30.3.1984

Abb. 45



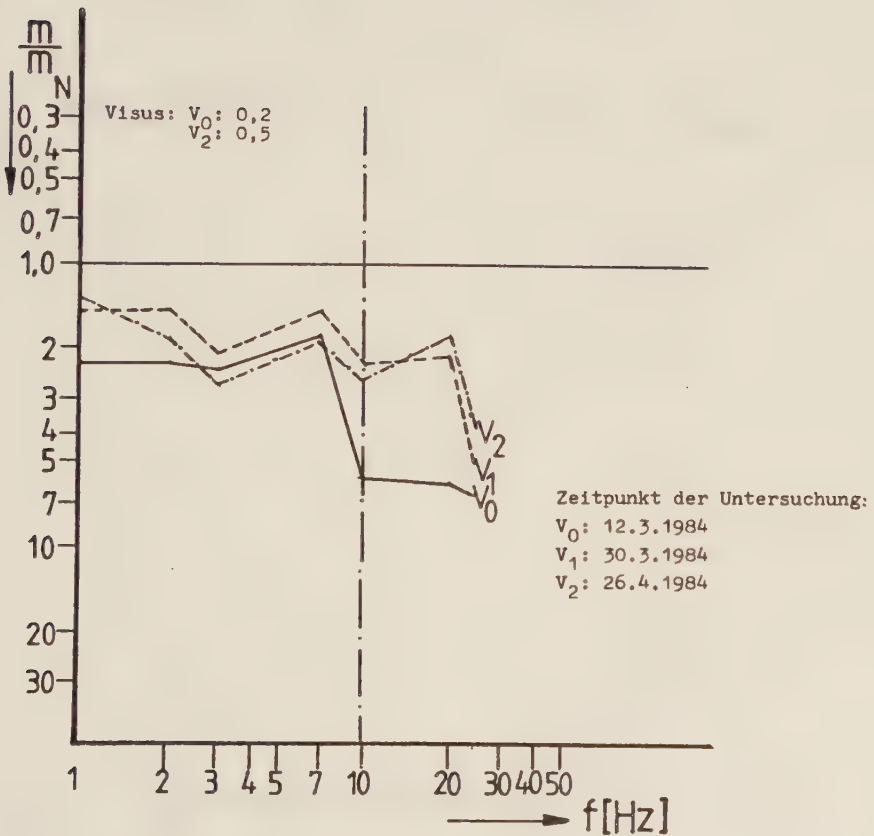
Vaskuläres Papillenödem
61-jährige Patientin
V₂: 26.4.1984

Abb. 46



Vaskuläres Papillenödem
VERLAUFSKONTROLLE bei einer 61-jährigen Patientin
über den FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
(nur überschwellige Werte)

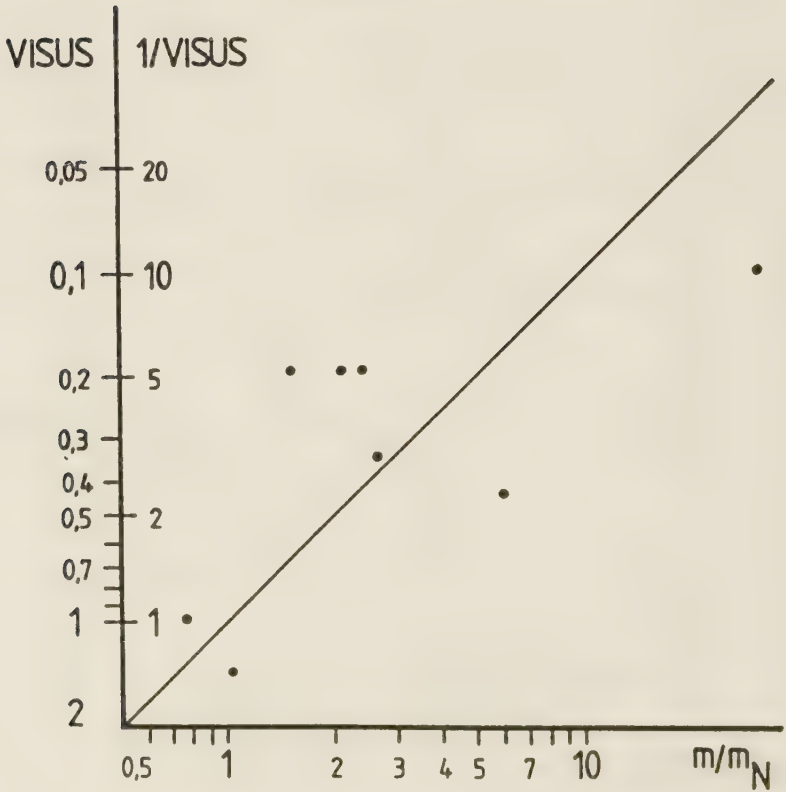
Abb. 47



FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
als Funktion des jeweiligen VISUS

Abb. 49

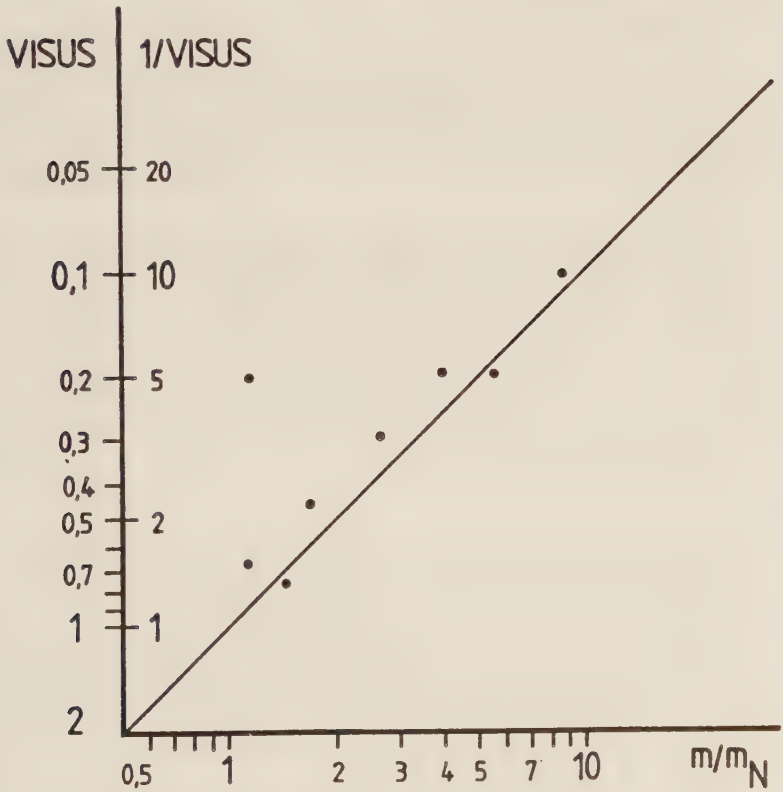
(Patienten mit vaskulärem Papillenödem)
Frequenz: 2Hz



FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
als Funktion des jeweiligen VISUS

Abb. 49

(Patienten mit vaskulärem Papillenödem)
Frequenz: 20Hz



7. Patienten mit Opticusatrophie

7.1. Definition

Die Ursachen der Opticusatrophie sind sehr vielfältig. Allen Formen der Opticusatrophie ist jedoch ein mehr oder weniger ausgeprägter Funktionsverlust des Sehnerven gemeinsam. Für die weitere Begriffserklärung sei auf DUKE - ELDER (5) verwiesen.

7.2. Auswahlkriterien

Ebenso wie unter 6.2. wurden im Zeitraum der Erprobung der Untersuchungsmethode Patienten mit Opticusatrophie untersucht. Die Patienten befanden sich zu dieser Zeit entweder ambulant oder stationär in der Klinik. Die Untersuchung erfolgte wiederum nach klinischer Diagnosestellung.

Von den Patienten, die sich im Alter zwischen 30 und 50 Jahren befanden, erschien es nicht sinnvoll die Ergebnisse wegen der Inhomogenität des Krankheitsbildes zu mitteln. Es wurden lediglich die De Lange - Kurven der einzelnen Krankheitsfälle dargestellt und deren Ursache auf den Abbildungen angegeben. Zusätzlich wurde der Faktor der Schwellenerhöhung als Funktion der Frequenz, sowie der Faktor der Schwellenerhöhung als Funktion des Visus bei 2 Hz und bei 20 Hz berechnet und dargestellt. Des weiteren wurde der Faktor der Schwellenerhöhung bei Patienten mit Opticusatrophie, bezogen auf die normalsichtigen Probanden der entsprechenden Altersgruppe berechnet und in Abb. 58 graphisch dargestellt. Es wurden die Werte dreier exemplarisch ausgewählter Patienten dargestellt. Als weiteres Hilfsmittel in der Diskussion dieser vielfältigen Erkrankung wurde der Faktor der Schwellenerhöhung m/m_N in Abhängigkeit vom Visus, bzw. vom Reziprokwert des Visus bei einer Frequenz von 2 Hz (Niederfrequenzbereich) und bei 20 Hz (Hochfrequenzbereich) dargestellt (s. Abb. 59 und 60).

Die klinischen Diagnosen der Opticusatrophie bei den untersuchten Patienten hatte im einzelnen folgenden pathogenetischen Hintergrund: 3 Patienten mit intrakranieller Raumforderung, 2 Patienten mit ischämisch bedingter Opticusatrophie, 2 Patienten mit Opticusatrophie unbekannter Ursache und 1 Patient mit Opticusatrophie nach Papillitis im Jahr 1965.

7.3. Ergebnisse und Diskussion

Ein Vergleich der De Lange - Kurven untereinander bei den verschiedenen Ursachen der Opticusatrophie zeigt über fast allen Frequenzen eine Reduktion der Übertragungseigenschaften.

Bei intrakranieller Raumforderung (s.Abb. 50, 51 und 52) zeigt sich eine ausgeprägte Kurvenreduktion im Nieder- und Hochfrequenzbereich. Dies zeigt auch die massive Zunahme des Faktors der Schwellenerhöhung in der Abb. 58 Kurve C. Bei den Tumorpatienten liegt die FFF bei ca. 20 Hz, während die Modulationstiefe zwischen ca. 0,5 und 0,2 schwankt. Der Visus liegt bei diesen Patienten zwischen 0,3 und 0,6. Von allen in dieser Arbeit untersuchten Opticusatrophien wies die Gruppe der Patienten mit intrakranieller Raumforderung in den De Lange - Kurven die drastischsten Reduktionen auf.

Die ischämisch bedingten Opticusatrophien (s.Abb. 56 und 57) weisen an der Statischen Unterschiedsschwelle zwar eine geringe Reduktion auf, zeigen dagegen aber im Hochfrequenzbereich einen massiven Einbruch, so daß die FFF bei nur knapp über 20 Hz liegt. Betrachtet man zusätzlich die Berechnung des Faktors der Schwellenerhöhung, so kann in der Abbildung 58 Kurve B eine geringe Schwellenerhöhung angenommen werden. Diese ist allerdings nicht so stark ausgeprägt wie bei den intrakraniellen Raumforderungen.

Wird hier kurz ein Vergleich zwischen den Krankheitsbildern vorgenommen, so erkennt man, daß bei Opticusatrophie die Kurven im Niederfrequenzbereich weniger Schwankungen aufweisen als bei Patienten mit vaskulärem Papillenödem. Interessant ist im Vergleich das Verhältnis Visus zu Kurvenreduktion. Während bei der Opticusatrophie eine massivst reduzierte Kurve (s.Abb. 50) immer noch einen Visus von 0,4 aufweist, zeigt im Gegensatz dazu das vaskuläre Papillenödem bei bereits "erholter" Kurve immer noch eine massive Visusreduktion von 0,2. Der Vergleich mit der NNO zeigt weiterhin, daß bei bereits erholtem Visus, beispielsweise 1,0 die Reduktion der De Lange - Kurve weiterhin bestehen bleiben und somit die Reduktion des zeitlichen Übertragungsverhaltens ebenso fortbestehen kann.

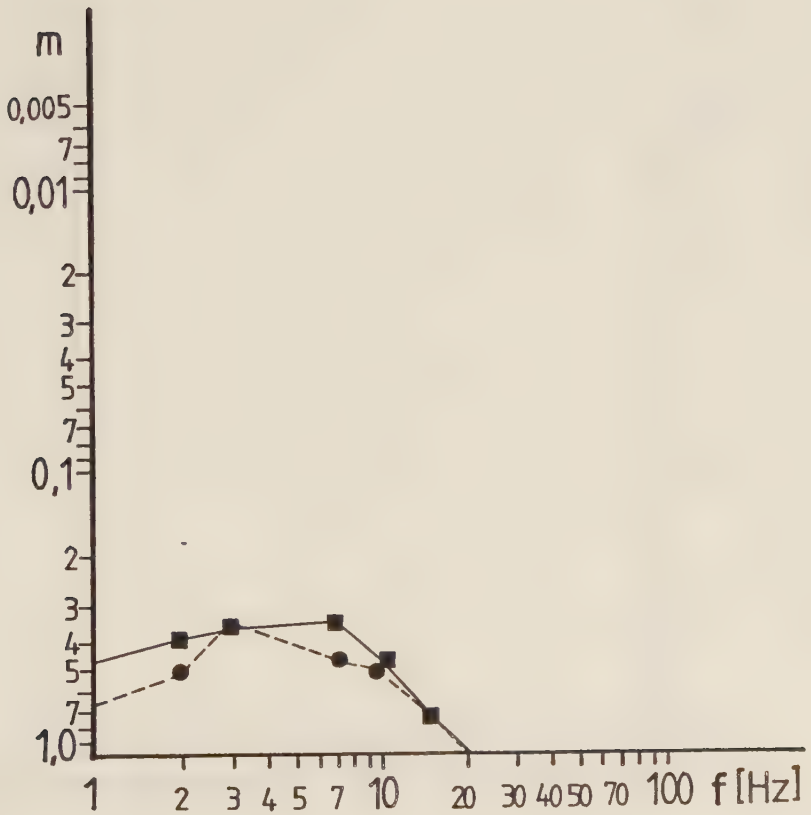
Die Abbildungen 59 und 60 verdeutlichen den Zusammenhang zwischen Visus und dem Faktor der Schwellenerhöhung bei 2 Hz und 20 Hz. Sowohl bei niedrigen, als auch bei hohen Frequenzen ergibt sich eine "Punktwolke", die um die Winkelhalbierende ($1/\text{Visus} = m/m_N$) streut. Daraus folgt, daß zwar weder im Nieder- noch im Hochfrequenzbereich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Faktor der Schwellenerhöhung m/m_N und dem Reziprokwert des Visus $1/V$ besteht, daß aber dennoch eine sehr gering ausgeprägte Korrelation zwischen diesen beiden Parametern angenommen werden kann. Das heißt, der Faktor der Schwellenerhöhung steht sowohl hier, als auch bei der NNO nicht eindeutig mit dem Visus im Zusammenhang.

Im Gegensatz dazu sei auf die Patienten mit vaskulärem Papillenödem hingewiesen. Hierbei liefert die Auftragung des Reziprokwertes des Visus ($1/\text{Visus}$) gegen die Schwellenerhöhung (m/m_N) im Nieder- und besonders im Hochfrequenzbereich den eindeutigen Zusammenhang, daß bei dieser Erkrankung der Faktor der Schwellenerhöhung letztlich mit dem Visus sehr stark korreliert.

Opticusatrophie
35-jähriger Patient

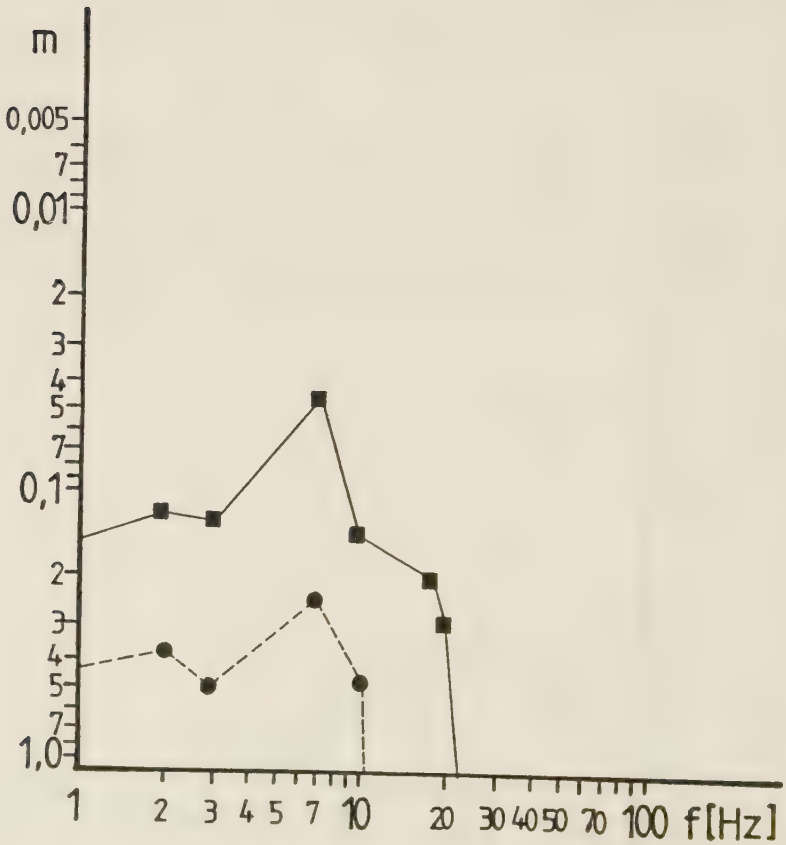
(Tumor der vorderen Schädelgrube)
Visus: 0,4p

Abb. 50



Opticusatrophie
53-jährige Patientin
(supraselläre Raumforderung)
Visus: 0,3p

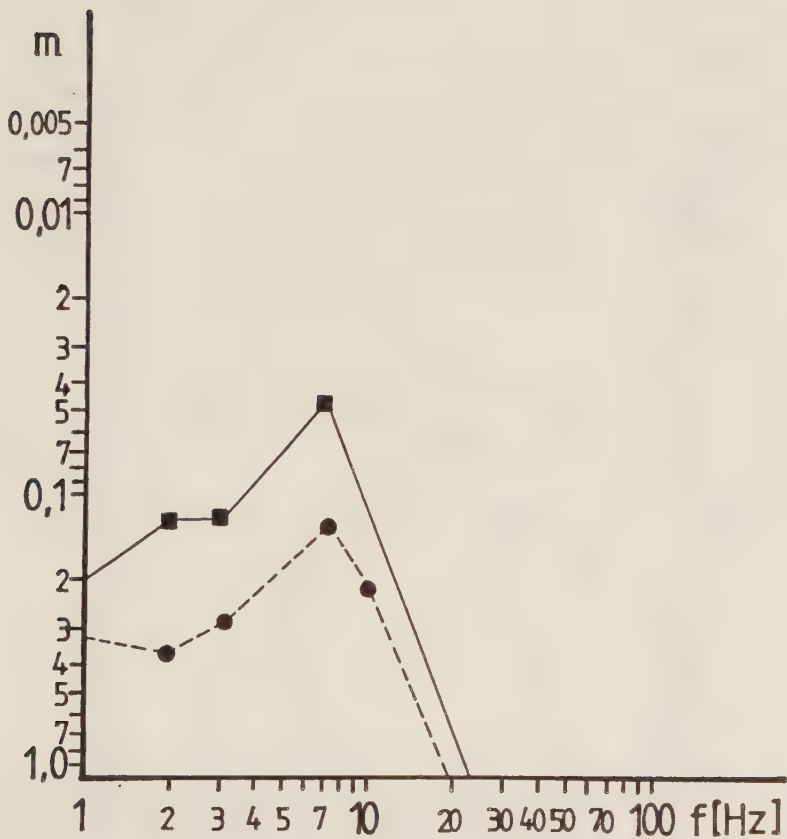
Abb. 51



Opticusatrophie
53-jährige Patientin

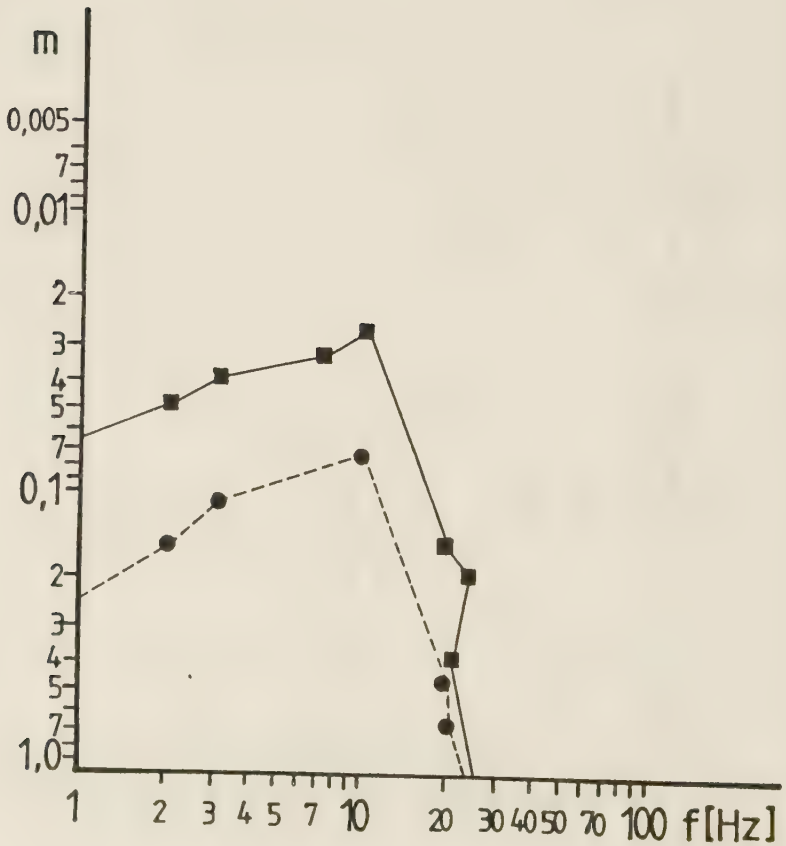
(supraselläre Raumforderung)
Visus: 0,6

Abb. 52



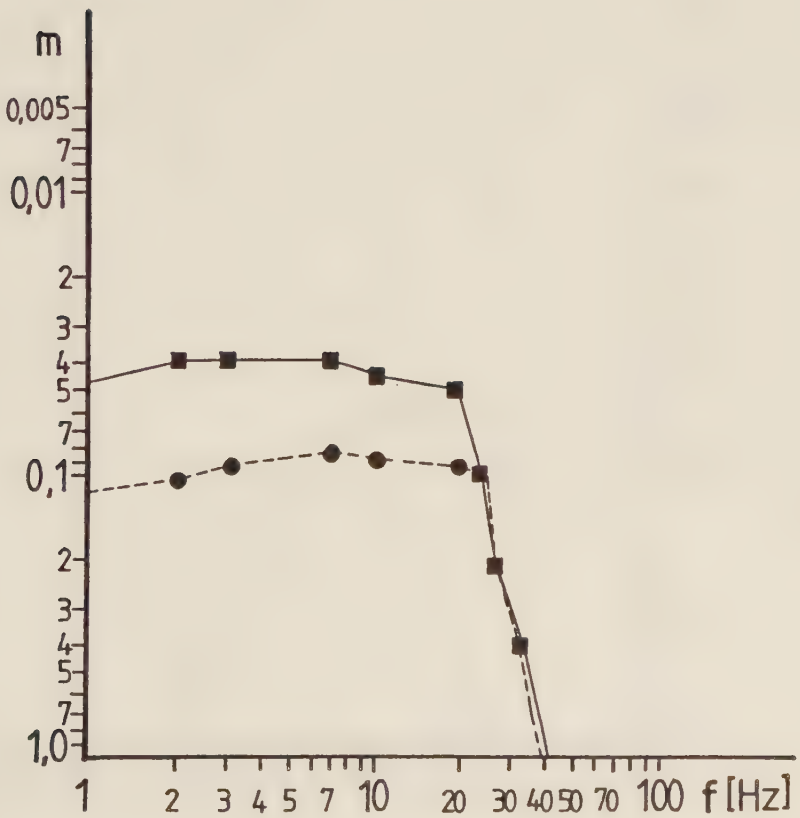
Opticusatrophie
45-jähriger Patient
(unbekannte Ursache)
Visus: 0,4

Abb. 53



Opticusatrophie
33-jährige Patientin
(Partielle Opticusatrophie
unbekannter Ursache)
Visus: 0,7p

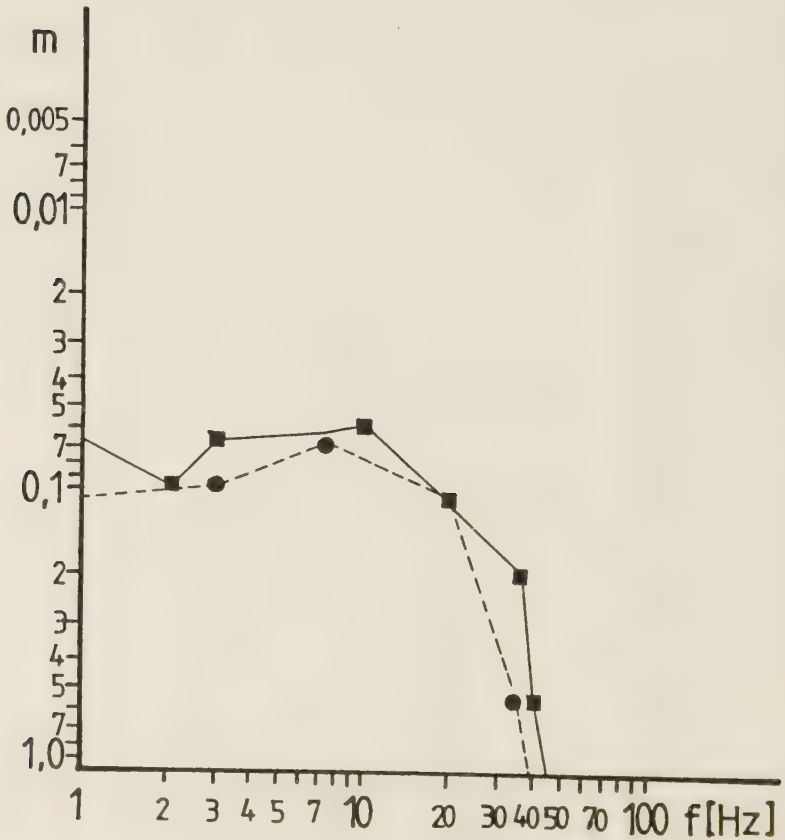
Abb. 54



Opticusatrophie
45-jähriger Patient

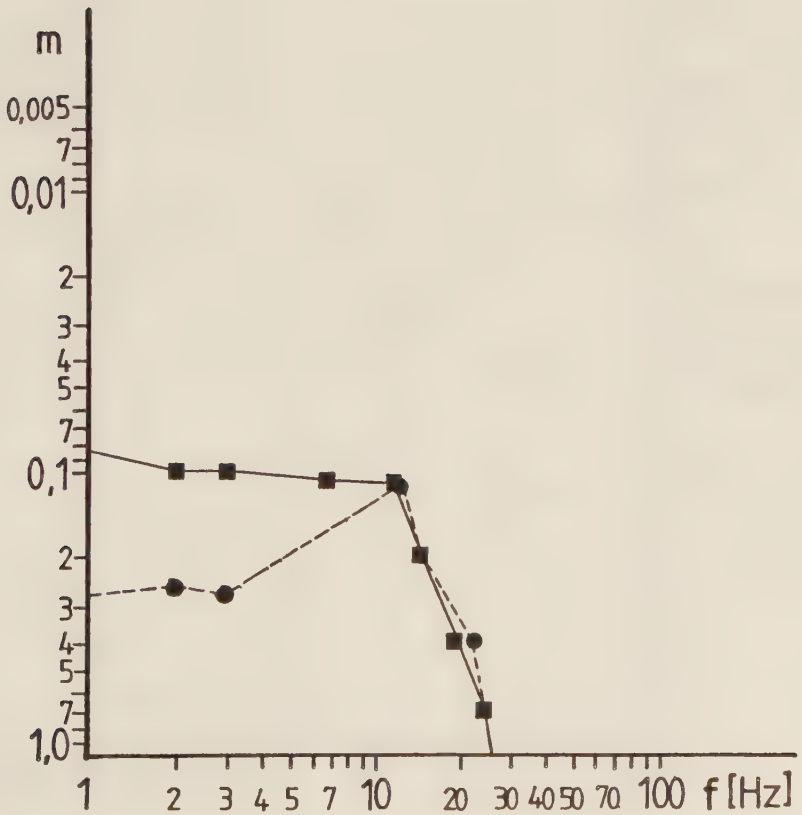
(Opticusatrophie bei Z.n.
Papillitis 1965)
Visus:0,8

Abb.55



Opticusatrophie
54-jähriger Patient
(Ischämisch bedingte
Opticusatrophie)
Visus: 0,5

Abb. 56



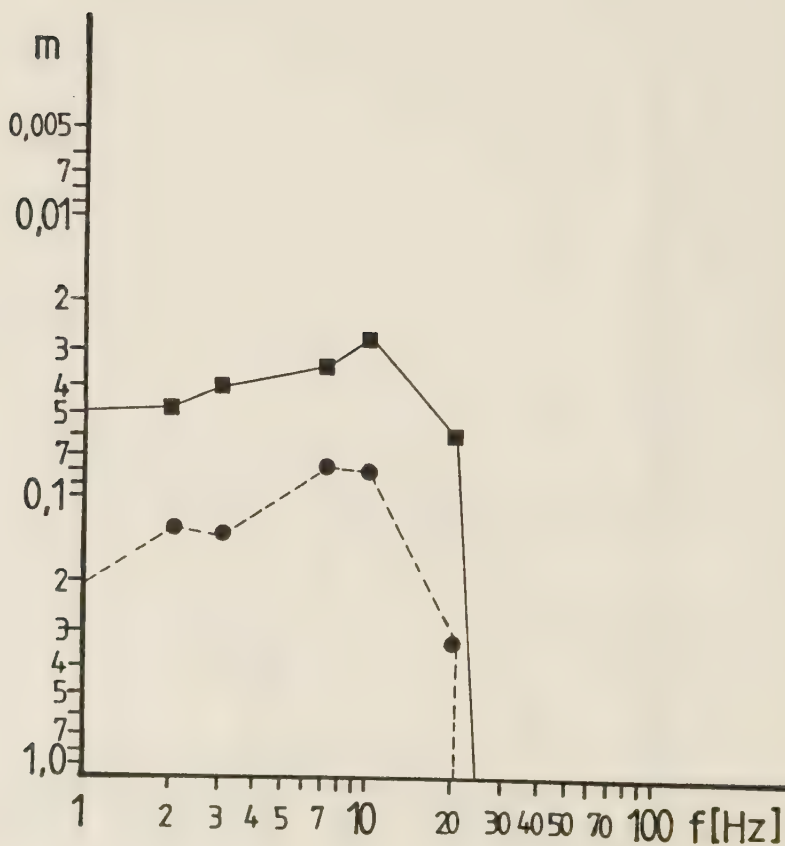
Opticusatrophie

52-jährige Patientin

(Infarkt im Mediaversorgungsbereich)

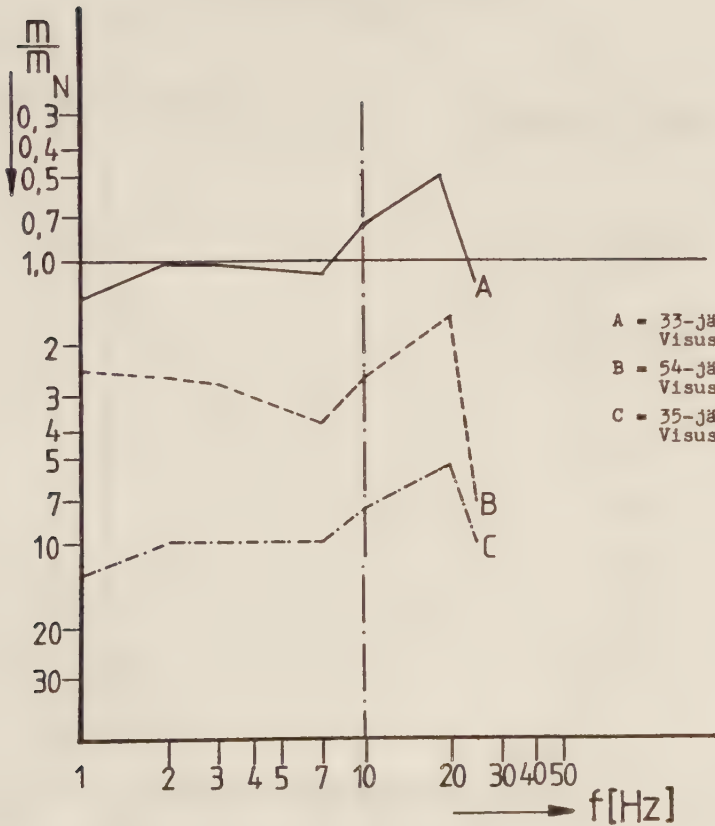
Visus: 0,4

Abb. 57



FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG bei
Patienten mit Opticusatrophie bezogen auf die
normalsichtigen Probanden der Altersgruppen
der 31-40 und 41-50-jährigen
(oberschwellige Werte dreier exemplarisch
ausgewählter Patienten)

Abb. 58

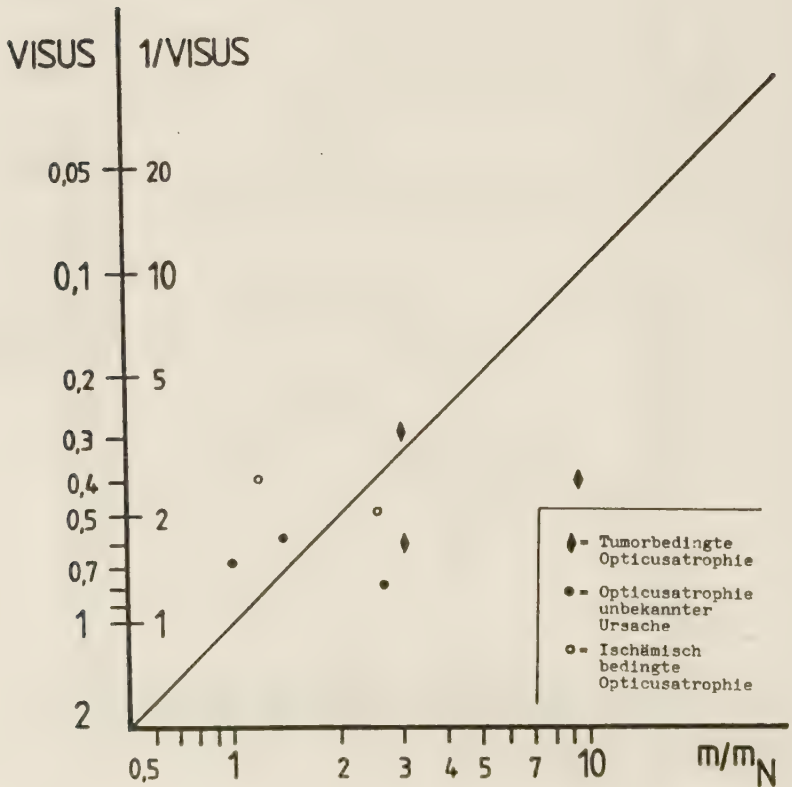


FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
als Funktion des jeweiligen VISUS

(Patienten mit Opticusatrophie)

Frequenz: 2Hz

Abb. 59

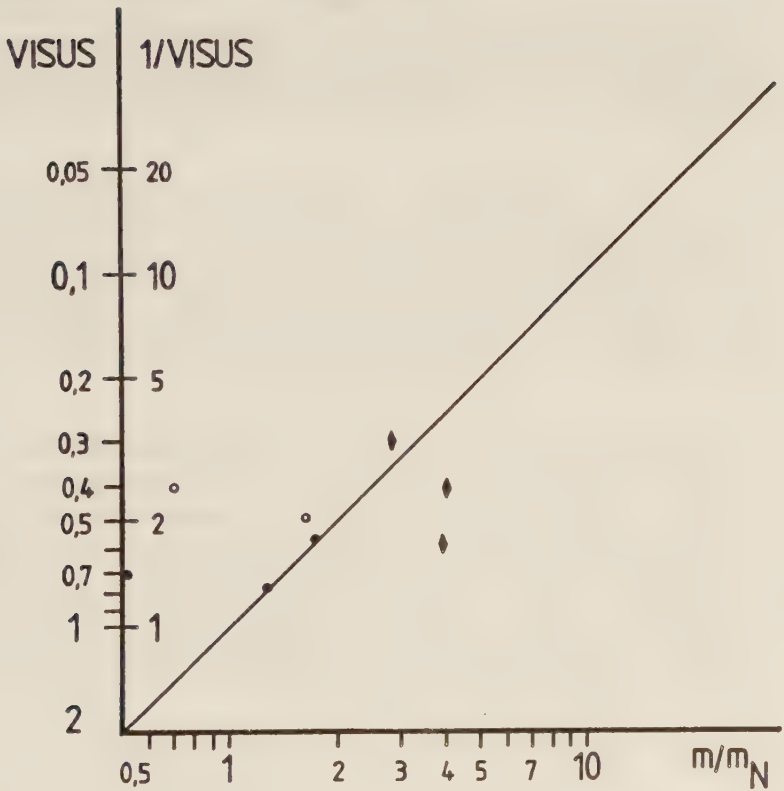


FAKTOR DER SCHWELLENERHÖHUNG
als Funktion des jeweiligen VISUS

(Patienten mit Opticusatrophie)

Abb. 60

Frequenz: 20Hz



8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die zeitlichen Übertragungseigenschaften des visuellen Systems untersucht. Es wird der Zusammenhang zwischen der Flimmerempfindlichkeit (d.h. der reziproken Schwellenmodulation) und der Frequenz eines zeitlich periodisch sinusförmig modulierten Testreizes untersucht.

Die Untersuchung erfolgte im Zeitraum 1984/1985 mit der unter den Punkten 3 und 4 dargestellten Versuchsanordnung und Meßmethode (Umfeldleuchtdichte: 50 cd/m^2 - Testzeichengröße: 1 Grad - Modulationsform: Sinus - Methode der konstanten Einzelreizdarbietung).

Es wurden foveale De Lange - Kurven bei normalsichtigen Probanden, sowie bei Patienten mit vaskulärem Papillenödem und mit Opticusatrophie ermittelt.

Mit zunehmendem Alter ergibt sich bei den normalsichtigen Probanden (4 Gruppen) eine zunehmende Reduktion der De Lange - Kurven und damit der Übertragungseigenschaften. Diese Tatsache verdeutlicht nochmals die Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung m/m_N in Abhängigkeit von der Frequenz (Hz). Entsprechend findet sich mit steigendem Alter eine Zunahme des Faktors der Schwellenerhöhung.

Bei Patienten mit Neuritis Nervi Optici (NNO) (s. GLEISSNER (6)) ist die De Lange - Kurve über allen Frequenzen reduziert. Betroffen sind in erster Linie hohe Zeitfrequenzen. Allerdings zeigen die De Lange - Kurven bei NNO in der Regel ein rasches Remissionsverhalten innerhalb von Tagen bis Wochen. Die Darstellung des Faktors der Schwellenerhöhung gegen den Visus (m/m_N von $1/\text{Visus}$) ergibt lediglich eine "diffuse Punktwolke". Es findet sich dabei keine Korrelation zwischen Visus und dem Faktor der Schwellenerhöhung.

Beim vaskulärem Papillenödem zeigt sich ebenfalls eine Reduktion der De Lange - Kurven über allen Frequenzen. Im Gegensatz zur NNO ist der Hochfrequenzbereich hier nicht so stark betroffen. Die zeitliche Erholung der De Lange - Kurve zeigt nur eine geringe, oder keine Rückbildungstendenz. Der Faktor der Schwellenerhöhung in der Abhängigkeit von der Frequenz zeigt ebenfalls eine Zunahme. Bei der Auftragung der Schwellenerhöhung gegen den Visus zeigt sich bei niedrigen Frequenzen (2 Hz) eine schwache, bei hohen Frequenzen (20 Hz) eine deutliche Korrelation zwischen Visus und der Schwellenerhöhung.

Patienten mit Opticusatrophie zeigen ebenso eine Reduktion der De Lange - Kurve über allen Frequenzen. Über das Remissionsverhalten kann keine Aussage getroffen werden. Es besteht eine geringe Korrelation zwischen Visus und dem Faktor der Schwellenerhöhung.

A) NNO

De Lange - Kurve: Reduktion der Kurve über allen Frequenzen
(besonders im Hochfrequenzbereich)

Zeitliche Erholung der De Lange - Kurve: In der Regel rasch
(Tage bis Wochen)

Schwellenerhöhung zur Frequenz: Massive Zunahme der Schwellen-
erhöhung bei steigender Frequenz

Schwellenerhöhung zu Visus: Keine Korrelation

B) Vaskuläres Papillenödem

De Lange - Kurve: Reduktion der Kurve über allen Frequenzen
(Hochfrequenzbereich geringer betroffen)

Zeitliche Erholung der De Lange - Kurve: Nur geringe, oder keine
Rückbildungstendenz

Schwellenerhöhung zur Frequenz: Massive Zunahme der
Schwellenerhöhung

Schwellenerhöhung zu Visus: Deutliche Korrelation
(steigt mit zunehmender Frequenz)

C) Opticusatrophie

De Lange - Kurve: Reduktion der Kurve über allen Frequenzen

Zeitliche Erholung der De Lange - Kurve: -----

Schwellenerhöhung zur Frequenz: Geringgradige Schwellenerhöhung

Schwellenerhöhung zu Visus: Sehr schwache Korrelation

9. Literaturverzeichnis

- (1) ALPERN M. und SUGIYAMA S. (1961) "Photopic driving of the CFF" J. Opt. Soc. Am. 51, 1379
- (2) AULHORN E. und HARMS H. (1965) "Visual Perimetry" in: Handbook of Sensory Physiology VII/4, 102-145 ed. by D. Jameson, Springer - Verlag, Heidelberg
- (3) AULHORN E. und LÜDDEKE H. (1975) "Das periphere Gesichtsfeld" ed. Jaeger J. F. Bergmann - Verlag, München
- (4) BRETTEL H. "Bau eines halbautomatischen Flimmerperimeters und periphere Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz" Diplomarbeit 1975
- (5) DUKE - ELDER S. (1971) "System of Ophthalmology" in: Neuro-ophthalmology Vol. XII, 221 - 224 ed. by G. SCOTT, C. V. Mosby Company, St. Louis
- (6) GLEISSNER M. "Die zeitlichen Übertragungseigenschaften des visuellen Systems bei Patienten mit Neuritis Nervi Optici" Dissertation (noch unveröffentlicht)
- (7) GRANIT R. und HARPER P. (1930) "Comparative studies on the peripheral and central retina: II. Synaptic reactions in the eye" Am. J. Physiol. 95, 211
- (8) GREEN D.G. (1969) "Sinusoidal flicker characteristics of the colour - sensitive mechanisms of the eye" Vis. Res. 9,591
- (9) HECHT S. und VERRIJP D. (1933) "Intermittent stimulation by light: III. The relations between intensity and CFF for different retinal locations" J. Gen. Physiol. 17, 251
- (10) HECHT S. und SHLAER S. (1936) "Intermittent stimulation by light: V. The relation between intensity and CFF for different parts of the spectrum" I. Gen. Physiol. 19, 965
- (11) HYLKEMA B.S. (1942) "Examination of the visual field by determining the fusion frequency" Acta opth. 20, 181
- (12) KAYAZAWA, SONODA, NISHIMURA, NAKAMURA, YAMAMOTO und ITOI (1984) "Clinical application of temporal modulation transfer function" Jpn. J. Ophthalmol. 28: 9 - 19

- (13) KAYAZAWA, YAMAMOTO und ITOI (1982) "Temporal modulation transfer function in Patients with retinal diseases"
Opthalmic. Res. 14: 409 - 415
- (14) KEESEY U.T. (1970) "Variables determining flicker sensitivity in small fields" J. Opt. Soc. Am. 60, 390
- (15) KELLY D. H. (1961) "Flicker fusion and harmonic analysis"
J. Opt. Soc. Am. 51, 917
- (16) KELLY D. H. (1972) "Flicker" in: Handbook of Sensory Physiology, VII/4, 273 ed. by D. Jameson, Springer - Verlag, Heidelberg
- (17) LACHENMAYR B. (1977) "Die Abhängigkeit der peripheren Flimmerverschmelzungsfrequenz von der Modulationsform des Testreizes" Diplomarbeit
- (18) LACHENMAYR, EGER und GLEISSNER (1985) "Das zeitliche Übertragungsverhalten des visuellen Systems bei Patienten mit Neuritis Nervi Optici" Fortschritte der Ophthalmologie 82: 189 - 193
- (19) LANDIS C. (1954) "Determinants of the critical flicker fusion thresholds" Physiological Reviews 34, 259
- (20) de LANGE H. (1952) "Experiments on flicker and some calculations on an electrical analogue of the foveal systems"
Physica, 18: 935
- (21) MAYER L. und SHERMAN I. (1983) "A method of flicker perimetry"
Am. J. Ophth. 33, 769
- (22) MONJE M. und BERNSDORFF H.R. (1952) "Über die Lokaladaptation periodischer Lichtreize" Pflugler's Archiv 255, 508
- (23) REY P. (1965) "Effect of an intermittend light stimulation on the CFF" Ergonomics 8, 173
- (24) ROSS R.T. (1953) "The fusion frequency in different areas of the visual field: II. The regional gradient of fusion frequency"
J.Gen. Psychol. 15, 181
- (25) YANNUZZI, GITTER und SCHATZ (1978) "The Macula" The Williams and Wilkins Company, Baltimore, 293 - 294

Herrn Prof. Dr. O.-E. Lund danke ich besonders für die Überlassung des Themas und die zur Verfügungstellung des Arbeitsplatzes.

Herrn Dr. Dr. Lachenmayr bin ich zu großem Dank verpflichtet bei der Anleitung für den experimentellen Teil der Arbeit und für die Unterstützung und Anregungen bei der Erstellung dieser Arbeit.

Lebenslauf

geboren: 2. Juni 1955 in Wiesentheid

Konfession: römisch - katholisch

Eltern: Eduard Eger, Landwirt in Kirchschönbach
Anna Eger, geb. Schmaus

Grundschule: 1961 - 1970 in Prichsenstadt mit Erhalt des
Qualifizierten Abschlusses

Lehre: 1970 - 1972 Berufsausbildung als Landmaschinen-
schlosser mit gleichzeitigem Besuch der Berufs-
aufbauschule

Berufsaufbauschule: 1972 - 1973 Unterbrechung der Berufsausbildung für
ein Jahr und Beendigung der Berufsaufbauschule
mit dem Erhalt der Fachschulreife

Lehrabschluß: Aufgrund gewährter Lehrzeitverkürzung
von 13 Monaten, erfolgreicher Abschluß der
Berufsausbildung mit Gesellenbrief 1974.
Gleichzeitig erfolgreiche Abschlußprüfung der
Berufsschule

Hum. Kolleg: 1974 - 1978 Besuch des Humanistischen Kollegs
Theresianum in Bamberg mit dem Erhalt der
allg. Hochschulreife

Sanitätsausbildung: 1976 - 1977 Ausbildung zum Rettungssanitäter
und Sanitätsausbilder

Bundeswehr: 1979 Ableistung des Wehrdienstes

Studium: Vorklinischer Abschnitt: 1979 - 1982 Studium der
Humanmedizin an der Universität Regensburg
Klinischer Abschnitt: 1982 - 1986 Studium der
Humanmedizin an der Ludwig - Maximilians -
Universität in München

Approbation: 9. Mai 1986

